

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**

Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: Produktový management – Textil

**Analýza prvkového složení vláknenných struktur**

**Analysis of elemental composition of the fibrous structure**

**Diplomová práce**

**KHT – 091**

Autor:	Bc. Helena Rychlá
Vedoucí práce:	Ing. Mária Průšová
Konzultant:	doc. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Počet stran: 56

Počet příloh: 5

Zadání

### **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 12. 5. 2011

Podpis

## **Poděkování**

Ráda bych tímto poděkovala všem, kteří mi pomáhali s vytvořením této diplomové práce. Především pak své vedoucí Ing. Márii Průšové za to, že mě vždy poslala správným směrem, kterým se mám ubírat. Dále svému konzultantovi doc. Ing. Jakub Wiener, Ph.D za cenné rady ohledně vyhodnocení získaných dat.

Závěrem bych ráda poděkovala své rodině, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

## **Anotace**

Teoretická část této diplomové práce se zabývá vývojem a využitím metody LIBS, dále pak popisem principu laserového analyzátoru LEA S500. Její součástí je také obecná charakteristika polyamidu, titanu, lidských vlasů a jejich struktury.

Praktická část se zabývá vývojem a ověřováním metod vhodných pro měření vlákenných útvarů a mapováním chemických prvků v monofilu z polyamidu a v lidských vlasech.

## **Klíčová slova:**

- spektroskopie,
- LIBS,
- laser,
- titan,
- vlasy.

## **Annotation**

The theoretical part of this thesis deals with development and use of LIBS method, as well as with description of principle of laser analyzer LEA S500. It also includes general characteristic of polyamide, titanium, human hair and its structure.

The practical part deals with development and verification of methods which are convenient for measurements of threaded formations and with mapping of chemical elements in polyamide monofilament and in human hair.

Key words:

- Spectroscopy,
- LIBS,
- Laser,
- Titanium,
- Hair.

## Obsah

Úvod .....	13
1 Spektroskopie laserem buzeného plazmatu (LIBS).....	14
1.1 Historie.....	14
1.2 Podstata metody .....	14
1.3 Výhody a nevýhody metody LIBS .....	15
1.4 Oblasti využití LIBS .....	15
2 Laserový analyzátor LEA S500.....	17
2.1 Konstrukční prvky analyzátoru LEA S500.....	17
2.1.1 Laser .....	17
2.1.2 Optický systém .....	19
2.1.3 Spektrograf .....	19
2.1.4 Detekční systém.....	20
2.1.5 Hardware – software.....	20
2.1.6 Obslužné zařízení .....	22
2.2 Princip fungování analyzátoru LEA S500 .....	22
3 Polyamidová vlákna .....	23
4 Titan.....	25
4.1 Oxid titaničitý .....	25
4.1.1 Vlastnosti .....	25
4.1.2 Použití.....	26
5 Lidský vlas.....	28
5.1 Dělení vlasů .....	28
5.2 Stavba a struktura vlasu .....	28
5.2.1 Vrstvy vlasu .....	29
5.3 Fáze vlasového růstu.....	30



6	Experimentální část .....	32
6.1	Popis testovaných materiálů .....	32
6.2	Navržené metody řešení uchycení vláken .....	36
6.2.1	Metoda první .....	36
6.2.2	Metoda druhá.....	36
6.2.3	Metoda třetí .....	38
7	Testování metodiky uchycení vláken .....	39
7.1	Metoda první – lepicí páska na kovovém podstavci.....	39
7.2	Metoda druhá a třetí.....	40
7.2.1	Šablona s jedním velkým okénkem.....	40
7.2.2	Šablona s více okénky .....	40
8	Mapování stopových prvků ve vlasech .....	41
9	Diskuze .....	44
9.1	Hodnocení navržených metod uchycení vláken .....	44
9.2	Vlasy .....	47
	Závěr.....	52
	Literatura .....	54
	Seznam příloh.....	56

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma vzniku mikrop plazmatu [3] .....	15
Obrázek 2: Přístroj LEA S500 [5] .....	17
Obrázek 3: Znázornění laseru a jeho důležitých částí [6] .....	17
Obrázek 4: Možnosti nastavení hardwaru .....	21
Obrázek 5: Chemická struktura PA 6 a PA 6.6 [12] .....	23
Obrázek 6: Řez vlasem [20] .....	29
Obrázek 7: Fáze vlasového růstu [21] .....	30
Obrázek 8: PA - podélný a příčný pohled .....	33
Obrázek 9: Světlý vlas - podélný a příčný pohled.....	34
Obrázek 10: Tmavý vlas - podélný a příčný pohled.....	35
Obrázek 11: kovový podstavec .....	36
Obrázek 12: Uspořádání šablony, kroužku a kovového závaží.....	37
Obrázek 13: Šablona s velkým okénkem .....	37
Obrázek 14: Šablona s malými okénky .....	38
Obrázek 15: Nastavení hardwaru .....	39
Obrázek 16: Velké okénko s přetrženými vlákny a viditelnými zásahy laserem.....	40
Obrázek 17: Hardwarové nastavení pro oblast o vlnové délce 235 – 265 nm .....	42
Obrázek 18: Hardwarové nastavení pro oblast o vlnové délce 315 - 345 nm.....	43
Obrázek 19: Velké okénko s několika přetrženými vlákny.....	45

## Seznam grafů

Graf 1: Průměrné hodnoty Ti naměřené v šabloně s jedním velkým okénkem .....	45
Graf 2: Naměřené průměrné hodnoty Ti při použití metody s malými okénky .....	46
Graf 3: Koncentrace titanu ve světlých vlasech .....	47
Graf 4: Koncentrace uhlíku ve světlých vlasech .....	48
Graf 5: Koncentrace mědi ve světlých vlasech .....	48
Graf 6: Koncentrace vápníku ve světlých vlasech.....	49
Graf 7: Koncentrace titanu v tmavých vlasech.....	49
Graf 8: Koncentrace uhlíku v tmavých vlasech.....	50
Graf 9: Koncentrace mědi v tmavých vlasech.....	51
Graf 10: Koncentrace zinku v tmavých vlasech.....	51

## Seznam symbolů, zkratk a termínů

LIBS	Laser Induced Breakdown Spectroscopy
ETA – AAS	atomová absorpční spektroskopie s elektrickou analýzou
ICP – MS	hmotností spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem
Nd: YAG	neodymový laser: Yttrium Aluminium Granát
PA	polyamid
Ti	titan
TiO <sub>2</sub>	oxid titaničitý
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
H <sub>2</sub> O	voda
REM	rastrovací elektronový mikroskop
Zn	zinek
Si	křemík
Cu	měď
Na	sodík
Fe	železo
Ca	vápník
C	uhlík

## Úvod

S tím jak se naše civilizace stává vyspělejší, stoupají i požadavky na analýzu různých materiálů. Ty mohou být v pevném, kapalném či plynném stavu. V takových případech lze využít emisní metody. Měření je rychlé a přesné. Samotné zpracování vzorku je ovšem často pomalé a obtížné. Možností, jak předejít zdlouhavé a náročné přípravě vzorku, je využití laserové ablace (odpařování), které vede ke vzniku mikroplazmatu excitovaného do vyšších energetických stavů a následný návrat do základního stavu vedoucího k emisi charakteristického záření. Při laserové ablaci vzniká mikroplazma, jehož záření využívá metoda LIBS k určení chemického složení.

Účelem diplomové práce bylo provedení analýzy prvkového složení vláknenných struktur. Analýza vláknenných útvarů byla prováděna v prvkovém analyzátoru LIBS. Cílem práce kromě prvkové analýzy bylo vyvinutí a ověření vhodných metod pro uchycení vláknenných struktur s přihlédnutím k podmínce, že tyto útvary musí být při měření v napnutém stavu. K ověření navržených metod byl použit polyamidový monofil, na kterém byla sledována koncentrace titanu. Dále pak bylo měřeno prvkové složení vlasů.

# 1 Spektroskopie laserem buzeného plazmatu (LIBS)

Spektroskopie laserem buzeného plazmatu jinak také označovaná zkratkou LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) je metoda využívající záření mikroplazmatu, které se vytváří na povrchu zkoumaného vzorku laserovým pulsem k určení chemického složení. Mikroplazma vzniká zářením ablačního laseru. V současné době se využívá pevnolátkových pulzních laserů s délkou záření v řádu ns.

[1]

## 1.1 Historie

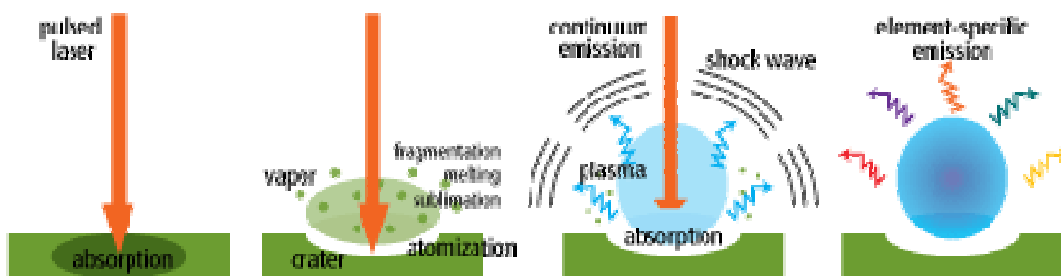
V roce 1917 navrhl A. Einstein teorii stimulovaného emisního záření. Dvojice Shawlow a Townes sestrojili roku 1958 laser pracující ve viditelném spektru a o dva roky později byl spuštěn první rubínový laser. Za další dva roky bylo objeveno plazma indukované v materiálu při použití rubínového laseru. Přímá spektrální analýza metodou LIBS se však uskutečnila až v roce 1964. Od 70. let se tato metoda začala využívat komerčně a s rozšířením vysoce výkonných pulzních laserů v 80. letech se tak dostává do čela vědeckého zájmu.

[2]

## 1.2 Podstata metody

LIBS využívá laserový paprsek, který je přes čočku zaostřen na povrch daného vzorku. Průměr svazku v ohnisku může být i velmi malý. Energie tohoto pulzu zapříčiní, že se vzorek intenzivně ohřívá a vede teplo do materiálu a na povrchu se vytvoří malá vrstvička roztaveného materiálu. Vzorek se začíná vypařovat, vzniklé páry stále pohlcují energii laseru, prudce expandují a dochází ke vzniku plazmatického útvaru. Po skončení laserového pulzu začne plazma chladnout a v emisním spektru se začínají objevovat iontové nebo atomové čáry prvků. Záření se za pomoci optických kabelů vede do spektrometru, který slouží k detekci emisních čar prvků z požadované části spektra.

**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**



Obrázek 1: Schéma vzniku mikroplazmatu [3]

### 1.3 Výhody a nevýhody metody LIBS

Výhody:

- analýza pevných, kapalných a plyných materiálů,
- odpadá složitá příprava vzorků,
- lze měřit i velmi malé vzorky a vzorky, které jsou těžko rozpustné v roztocích (keramika, supravodiče),
- téměř nedestruktivní metoda,
- jednoduchá a rychlá analýza.

[4]

Nevýhody:

- sekundární metoda – nutná kalibrace s využitím reálných vzorků, které byly předem analyzovány jinou metodou anebo použití certifikovaných referenčních materiálů,
- zdlouhavá kalibrace vzorku,
- horší detekční limity pro všechny prvky v porovnání s roztokovými metodami jako je např. ETA – AAS (atomová absorpční spektroskopie s elektrickou analýzou), ICP – MS (hmotnostní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem).

[4]

### 1.4 Oblasti využití LIBS

Metoda LIBS má poměrně široké spektrum uplatnění právě díky možnosti analyzovat pevné, kapalně i plyné vzorky. Používá se při rozboru slitin a hutních materiálů. Velké možnosti použití nabízí v archeologii a v rozboru uměleckých předmětů. Lze provést rozbor barviv, monitorovat postup při restaurátorských činnostech a při rozbořech

keramických předmětů. Použít tuto metodu lze také ve zdravotnictví a farmaceutickém průmyslu. Nabízí také zkoumání a hodnocení forenzních předmětů. Dále se používá v podmořském či vesmírném výzkumu.

[2]



## 2 Laserový analyzátor LEA S500

Laserový analyzátor LEA S500 funguje na principu LIBS. Umožňuje měření kovů a jejich slitin, keramiky, skla, textilní materiály a další látky.

[5]



Obrázek 2: Přístroj LEA S500 [5]

### 2.1 Konstrukční prvky analyzátoru LEA S500

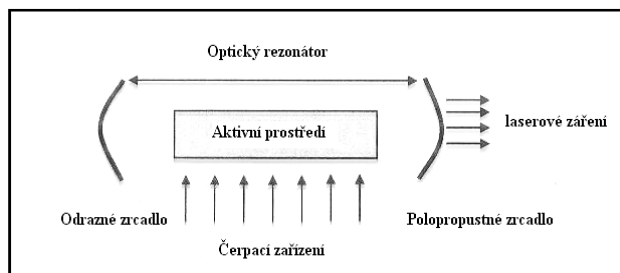
Konstrukční prvky přístroje tvoří laser, optický systém, spektrograf, detekční systém (CCD detektor), hardware – software a obslužné zařízení.

[6]

#### 2.1.1 Laser

Z výše uvedených informací je patrné, že přístroj LEA S500 využívá k vybuzení plazmatu právě laser. Slovo laser je zkratkou anglického názvu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation a v překladu znamená zesilování světla stimulovanou emisí záření.

[7]



Obrázek 3: Znázornění laseru a jeho důležitých částí [6]

Aktivní prostředí tvoří zdroj laseru a jedná se o látku obsahující oddělené energetické hladiny elektronů. Dále ho tvoří čerpací zařízení a optický rezonátor. Čerpací zařízení slouží k buzení laseru a zpravidla se užívá xenonové (impulsní) či kryptonové (kontinuální) výbojky, které dodává potřebnou energii zdrojová jednotka. K laseru je také umístěna chladicí jednotka, která zajišťuje odběr tepla z aktivního prostředí. Jako chladicí medium slouží tekutina např. destilovaná voda.

[2][8][9]

Lasery můžeme dělit podle různých hledisek – např. podle aktivního prostředí nebo časového režimu provozu.

Dělení laserů podle aktivního prostředí:

- pevno-látkové lasery,
- polovodičové lasery,
- plynové lasery,
- kapalinové lasery,
- plazmatické lasery.

Dělení laserů podle časového režimu provozu:

- pulzní
- kontinuální.

[9]

Přístroj pro spektrální analýzu LEA S500 využívá pevnolátkový laser typu Nd: YAG, jehož aktivním materiálem je izotropní krystal Yttrium Aluminium Granátu dopovaný ionty neodymu. Tento typ laseru působí v infračervené oblasti elektromagnetického spektra a k buzení dochází xenonovou výbojkou, která je umístěna v krystalické mřížce. Ke směřování paprsku na povrch dochází pomocí optického systému s proměnlivou ohniskovou vzdáleností. Laser může také působit v dvojném pulzním režimu. V tom případě dochází k opakovanému vyslání dvou po sobě jdoucích pulsů s nastavitelným zpožděním 0 – 20 ms.

[6][10]

### 2.1.2 Optický systém

Optický systém je tvořen soustavou dvou zrcadel. Jedno ze zrcadel je zcela odrazné, druhé polopropustné a umožňuje tak prostup úzkého, téměř nerozblhového laserového paprsku. Vzniklý paprsek je tak možné zaostřit.

[7]

Systém umožňuje souběžné buzení ze základních aktivních prvků za pomoci jen jedné výbojky. Ta je s aktivním prvkem umístěna v reflektoru, který umožňuje jejich jednotné osvětlení a rozdělení UV záření, jež bylo vytvořeno výbojkou.

[6][8]

### 2.1.3 Spektrograf

Spektrograf se využívá při sběru elektromagnetického záření, které je vyzařované vybuzenými atomy mikroplazmatu. Dále je využíván k prostorovému rozptýlení světla na monochromatické části a lze tedy z intenzity rozptylu určit rozdělení vlnových délek. Z toho vyplývá, že na základě odražené vlnové délky světla a jeho absorpci lze zkoumat chemické složení daného vzorku.

[6]

Důležitými parametry jsou výkon, rozlišení, spektrální odezva a především lineární rozptyl. Ten charakterizuje lineární vzdálenost mezi paprsky dvou blízkých vlnových délek. Přímou souvisí s počtem čar na difrakční mřížce, hustotou a s ohniskovou vzdáleností objektivu v detekčním systému. Čím více drážek obsahuje difrakční mřížka a čím je ohnisková vzdálenost větší, tím bude vlnová délka analyzovaného spektra obsahovat více informací.

[7][8]

Spektrograf analyzátoru LEA S500 má ohniskovou vzdálenost 500 mm, počet čar na difrakční mřížce je 1800, rozsah vlnových délek je od 170 nm do 110 nm a umožňuje vysoké rozlišení emisních čar, které jsou blízko u sebe. Využívá se především v případě měření vzorků obsahujících velké množství prvků.

[6][10]

#### **2.1.4 Detekční systém**

Detekční systém tvoří fotodetektor CCD (Charge Coupled Devices detektor) založený na přeměně energie optického záření na elektrickou energii. CCD detektor je mimo jiné možné využít v UV oblasti. Dále pro zesílení a zvýraznění signálu, na upravení pozice vzorku, pro zobrazení vzorku či plazmy na videokameru apod.

[2]

CCD detektor o rozlišení 2048 x 14 pixelů je tvořen maticí, která se skládá právě z jednotlivých pixelů. Světlo dopadající na čip (jednotlivé pixely) akumuluje elektrony. Platí, že čím je intenzita světla vyšší, tím je počet akumulovaných elektronů vyšší. Působením různého napětí na elektrody se balíky elektronů reprezentující jednotlivé balíky pixelů přelívají do dalšího pixelu. Takto jsou přelévány do výstupního zesilovače, kde se elektrony převedou na napětí, které je na výstupním čidlu pro každý jednotlivý pixel změřeno a převedeno na číselnou hodnotu zvlášť, tzn. množství dopadnuvšího světla na každý pixel. Číselná hodnota v každém pixelu tvoří datový soubor.

[2][4][6][10]

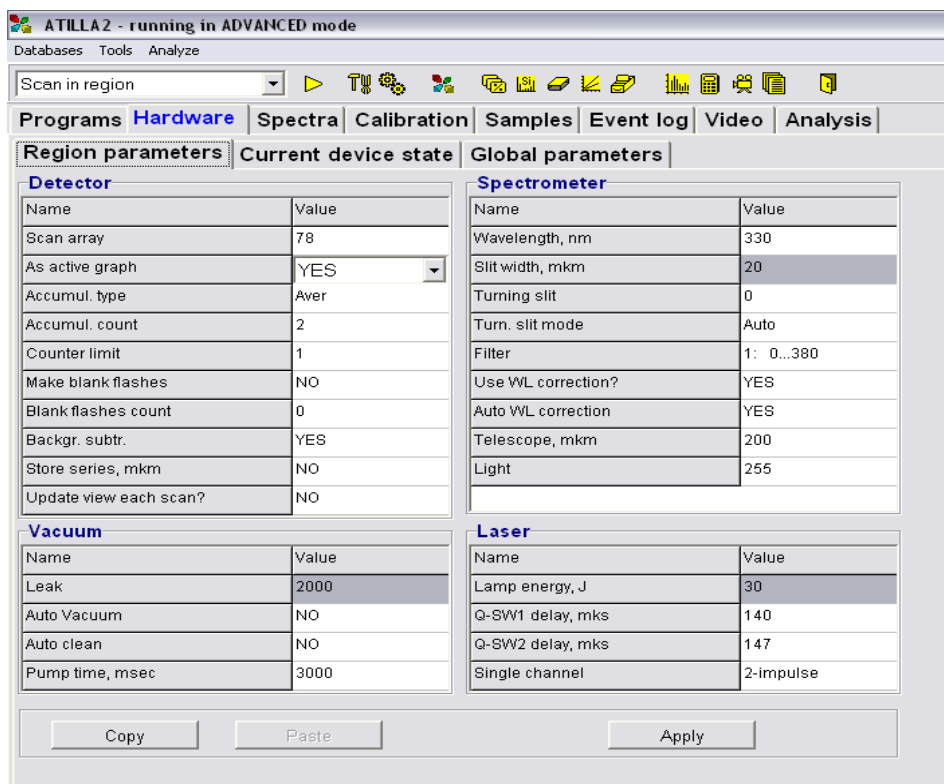
#### **2.1.5 Hardware – software**

Slouží ke kontrole, obsluze zpracování a archivaci naměřených hodnot. Lze tak získat požadované informace, kontrolovat je a dále s nimi pracovat a uchovávat. Umožňuje vhodné nastavení pro zabezpečení kvality a kvantity analýzy elementárního složení materiálů a látek.

[11]

Kromě výběru regionu, tzn. oblasti spektra měření zkoumaného vzorku, můžeme nastavit parametry pro laser, detektor či spektrograf jak je možné vidět na obrázku. Tak to lze získat optimální nastavení pro zkoumání konkrétních vzorků z různých materiálů.

[11]



Obrázek 4: Možnosti nastavení hardwaru

Spektrální oblast dále charakterizuje:

- záznam spektrálních čar daných prvků, které mají být ve spektru stanoveny,
- záznam referenčních a kontrolních čar,
- záznam standardních vzorků,
- parametry spektrálního buzení a detekce,
- kalibrace,
- záznam detekčních křivek.

[11]

Software poskytuje:

- zobrazení polohy vzorku na monitoru po dobu analýzy,
- automatickou kontrolu,
- globální kalibraci,
- automatickou identifikaci,
- kontrolu nečistot,
- systém pro kontrolu stability,

- automatickou kalibraci,
- kontrolu kvality a spolehlivosti výsledků,
- matematické zpracování výsledků a jejich následné tisknutí.

[11]

### **2.1.6 Obslužné zařízení**

Systém na odběr vzduchu z pracovní komory zajišťuje odstranění produktů mimo pracovní místo. V ojedinělých případech je možné použít na odstranění vzduchu z komory odsávací systém. Takto se zlepší výsledky měření.

[11]

## **2.2 Princip fungování analyzátoru LEA S500**

Do testovací komory je vložen vzorek s testovaným povrchem směrem dolů. Pomocí nastavovací struktury zaostříme obraz, který je zabezpečován kamerovým systémem. Plocha, na které je umístěn vzorek, nám umožňuje jeho posuv ve dvou kolmých rovinách.

[6]

Na zkoumaný vzorek je směřované laserové záření se stálou frekvencí pulzů. Je-li k testování použita čočka, je záření směřované jen na velmi malé místo. Fotony dopadajícího záření jsou absorbovány atomy vzorku. Za dostatečné hustoty záření dochází k laserové ablaci a následně ke vzniku mikroplazmatu. Valenční elektrony jednotlivých prvků jsou excitovány díky vysoké teplotě plazmatu do vyšších energetických hladin. Do původního stavu se vracejí už s daným charakteristickým zářením. Každý prvek je charakterizován jedinečným spektrem. Spektra jsou uložena v databázi, podle které lze daný prvek identifikovat.

[6]

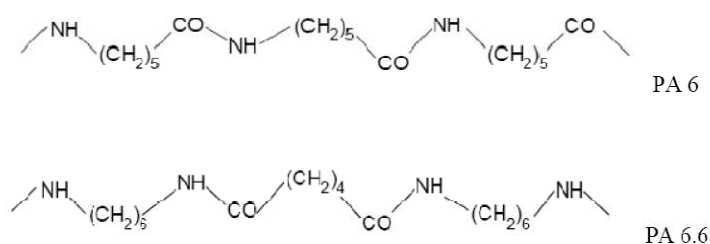
Plazmatický výboj po druhém pulzu je zpožděný o 5 až 15  $\mu$ s. Tento výboj nastane při vysoké teplotě výrobku z prvního impulsu plasmy a při zvýšení atmosférického tlaku na povrch vzorku. Analyzovaná oblast se nestíhá ochlazovat, což má za následek zvyšování energetické účinnosti při tavení vzorku a vypařovacím procesu. V zásadě platí, že nejmenší intenzitu k vytvoření plazmatu vyžadují pevné látky, potom kapaliny a nejvyšší intenzitu potřebují plynné látky.

[6]

### 3 Polyamidová vlákna

Polyamidová vlákna (PA) jsou syntetická vlákna, v jejichž řetězcích se opakují funkční amidové skupiny. Mezi nejznámější patří PA 6 (silon) a PA 6.6 (nylon), které jsou vyobrazeny na obrázku 5. Liší se nejen strukturou řetězců, ale také vlivem teploty. Vlákna z PA se využívají jako náhrada přírodního hedvábí (dámské punčochy, elastické prádlo, plavky, sportovní oblečení).

[12][13]



Obrázek 5: Chemická struktura PA 6 a PA 6.6 [12]

#### Výroba

Polyamid se vyrábí zvláknováním do šachty, což umožňuje dát vláknům různé profily. Nejdříve dochází k tavení polymeru při teplotě 270°C, následuje protlačování tryskami a dotahování chladicí šachtou. Vlákna jsou dále dloužena a to buď za studena, nebo za mokra. Tím získávají konečné, především mechanické, vlastnosti. Vyrábí se monofil, multifil, kabílek, kabel, stříž a také bikomponentní vlákna.

[12]

#### Vlastnosti

PA mají dobré mechanické vlastnosti (odolnost vůči opakovanému namáhání), vysokou pružnost, dobrou odolnost v oděru, nízkou měrnou hmotnost, malou bobtnavost (snadné praní, rychle schne). Naopak nevýhodou je nízký modul, malá odolnost v krutu a vznik statického náboje. Dále jsou málo odolná vůči slunečnímu záření (žloutnutí) a mají nízkou navlhavost (horší fyziologické vlastnosti).

[12][13]

Vliv teploty:

- PA 6            90 - 100°C: pokles pevnosti  
                    170°C: teplota měknutí, teplota žehlení  
                    170°C na vzduchu: destrukce molekul
  
- PA 6.6           150°C: žloutnutí a pokles pevnosti  
                    180 - 200°C: teplota žehlení  
                    235°C: teplota měknutí

### **Použití**

Stříž slouží jako tepelně izolační výplň oděvů a přikrývek, monofil se používá jako monofilní šicí nitě, z multifilu se vyrábí punčochové zboží a sportovní oblečení. Z tvarovaných kabílků se vyrábí všívané koberce a rouna ze stříže jsou surovinou do netkaných textilií.

[13]



## 4 Titan

Titan (Ti), latinsky titanium je stříbřitě bílý až šedý kov, který vyniká svojí tvrdostí a křehkostí. V přírodě se vyskytuje poměrně rozptýleně a lze ho najít v zemské kůře v nerostech jako je např. rutil nebo ilemit.

[14]

Uplatňuje se jako složka různých slitin protikorozních, ochranných vrstev. Ve formě sloučenin slouží především jako složka barevných pigmentů. Nejznámější a také asi nejpoužívanější sloučeninou je oxid titaničitý  $\text{TiO}_2$ .

[14]

### 4.1 Oxid titaničitý

Oxid titaničitý  $\text{TiO}_2$ , ve formě bílého prášku známý jako titanová běloba, se při normální teplotě vyskytuje ve třech krystalických přírodních podobách: anatas, rutil a brookit. Bylo také zjištěno, že není škodlivý lidskému zdraví a lze ho tedy účinně využít nejen v průmyslové výrobě.

[14][15]

#### 4.1.1 Vlastnosti

Jednou z nejdůležitějších vlastností  $\text{TiO}_2$  je tzv. fotokatalytická mineralizace, při níž  $\text{TiO}_2$  za dopadu UV záření přeměňuje organické molekuly a přetváří je na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ . Z tohoto důvodu se přidává do sanitárních materiálů, které pak mají samo čistící a dezinfekční vlastnosti.

[15]

Další vlastnosti:

- molární hmotnost: 79.87 g/mol
- hustota: 4,23 g/cm<sup>3</sup>
- bod tání: 1 870°C
- bod varu: 2 970°C
- bod vznícení: nehořlavý

- rozpustnost ve vodě: nerozpustný.

Vlastnosti materiálů s  $\text{TiO}_2$ :

- dobrá odolnost vůči mechanickému namáhání,
- elektricky vodivé,
- antistatické,
- vysoký rozptyl světla,
- vysoký index lomu ( $n = 2,7$ )

#### 4.1.2 Použití

Čistý  $\text{TiO}_2$  má bílou barvu, je mimořádně stálý, zdravotně nezávadný a s vysokou krycí schopností. Patří proto mezi nejvyšší bílé pigmenty. Vyrábí se z něj nejen barvy, ale využívá se také ve sklářském a keramickém průmyslu, používá se při výrobě velmi kvalitního papíru, jako plnivo plastických hmot a najít ho lze také v některých zubních pastách a opalovacích krémech. A protože nezatěžuje lidský organismus a v trávicím traktu se nijak nemění, uplatňuje se v potravinářském průmyslu pod označením E 171 při bělení mléka. Dále se nanáší na povrch nádobí a na jiné kuchyňské předměty. Také ho lze najít ve sprchových koutech, obkladech apod., kde je využito jeho samočisticích a antibakteriálních vlastností. Z toho důvodu se také aplikuje do filtrů. Pro své optické vlastnosti se dále používá ve šperkařství a v textilním průmyslu, kde je využíván především při matování vláken.

[15]

#### Příklady použití:

- *barvivo*: opalovací krémy, kosmetika, nátěry, barvy, barvení nápojů a potravin, zubní pasty (účinné odstranění zubního plaku);
- *sklářství*: vliv na zbarvení skla a jeho fyzikální vlastnosti (chemická odolnost, viskozita, zvýšení indexu lomu,...);
- *filtry*: přidávání nanočástic  $\text{TiO}_2$ , ochrana před bakteriemi, pohlcování zápachů;
- *textilní průmysl*: matování vláken (za účelem vnitřního rozptýlení světla ve vláknech, dochází tak ke snížení lesku a k difuznímu rozptylu světla - vlákna se pak zdají být bělejší a matnější);

- *ochranné povrchy*: samočisticí a antibakteriální účinky, nehořlavý, vysoce chemicky odolný;
- *vodiče*: nanočástice  $\text{TiO}_2$  se uplatňují v solárních článcích;
- *zubní pasty*: účinné odstranění plaku ze zubní skloviny;
- *ochranné optické filtry*: čočky, objektivy, brýle atd.

[15]

## 5 Lidský vlas

Pojem lidský vlas je všeobecně v odborné literatuře chápán jako veškeré ochlupení na lidském těle. Laik si ovšem většinou rovnou představí konkrétní typ – vlas na hlavě. Ostatní vlasy se řadí mezi tzv. chlupy, u zvířat mluvíme o srsti. Účelem vlasů je především termoregulace a ochrana před okolními vlivy (prach, UV záření).

[16]

### 5.1 Dělení vlasů

Vlasy, tedy lidské ochlupení lze rozdělit podle několika hledisek.

Dělení podle okamžiku vzniku:

- primární (lanugo): vzniká v embryonálním období, po narození vypadne,
- sekundární (vellus): nahrazuje primární ochlupení,
- terminální:
  - a) dlouhý typ vlasu: vlas na hlavě, vousy, ochlupení v podpaží a ohanbí,
  - b) krátký typ vlasu: řasy, obočí, chloupky v uších a nose.

[17][18]

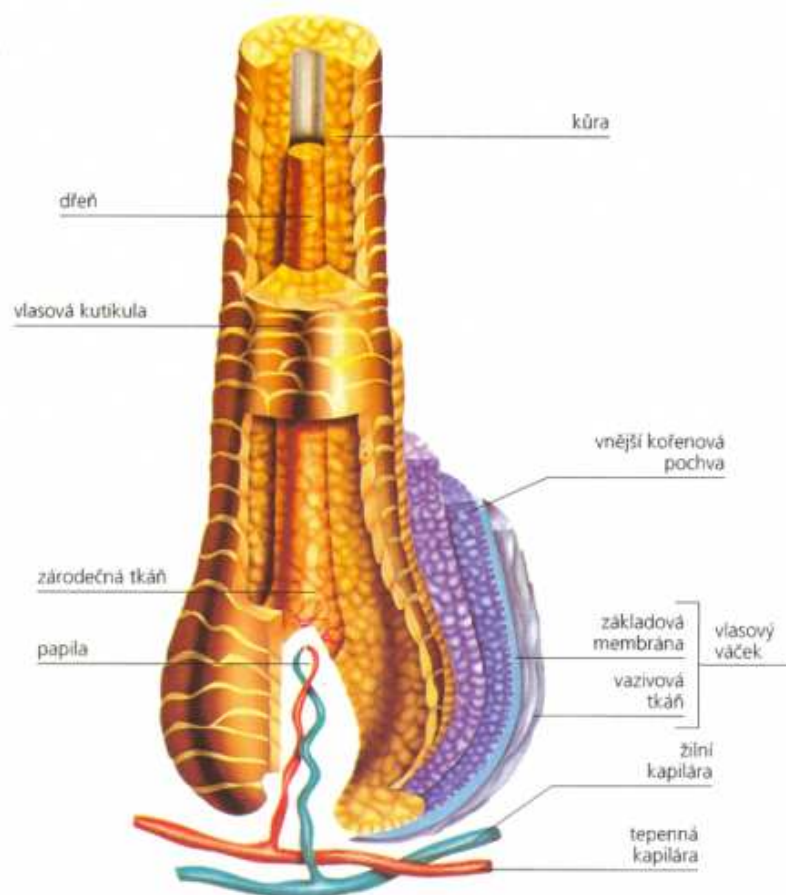
### 5.2 Stavba a struktura vlasu

Vlas samotný vyrůstá na povrch pokožky z vlasového váčku, který se vzniká již v ranném embryonálním stádiu a jejich počet a druh je tak dán trvale. Vlasové váčky se pak již během života nevytvářejí.

[17][18]

Vlasový váček se skládá z pokožkové a vazivové tkáně. Ve spodní části vlasového váčku je vazivová tkáň vtlačována do pokožkové tkáně a vytváří papilu. Zde se nachází nejmenší vlasečnice (kapiláry) zajišťující zásobování růstové zóny (matrix – zárodečná tkáň). Matrix představuje vrstvu buněk, které jsou schopné dělení a umožňují růst vlasu. Na obrázku 6 lze vidět řez vlasem a jeho jednotlivé části.

[19][20]



Obrázek 6: Řez vlasem [20]

### 5.2.1 Vrstvy vlasu

Vlas se skládá ze tří vrstev: kutikuly, kortexu a medully. Tvoří se již v oblasti tvarování ve váčku.

[20]

#### Kutikula

Představuje vnější vrstvu vlasu a chrání jeho vnitřek. Je velmi odolná a samotné mechanické vlivy ji nepoškozuje. V kombinaci s vlhkostí se však stává křehčí a snadněji narušitelnou. Skládá se ze zploštělých, zrohovatělých buněk. Obvykle obsahuje šest až osm vrstev, které jsou k sobě připojeny a tak tvoří ochrannou vrstvu vlasu. Zabraňuje tak pronikání nečistot do vlasu a také absorbuje UV záření. Je-li kutikula zdravá a nepoškozená, vlasy se přirozeně lesknou.

[19][20]

### Kortex (vlasová kůra)

Kortex se nachází těsně pod kutikulou a tvoří převážnou část vlasu. Ovlivňuje pevnost a elasticitu vlasu. Obsahuje keratin a pigment, který předurčuje barvu vlasu.

[19][20]

### Medulla (dřeň)

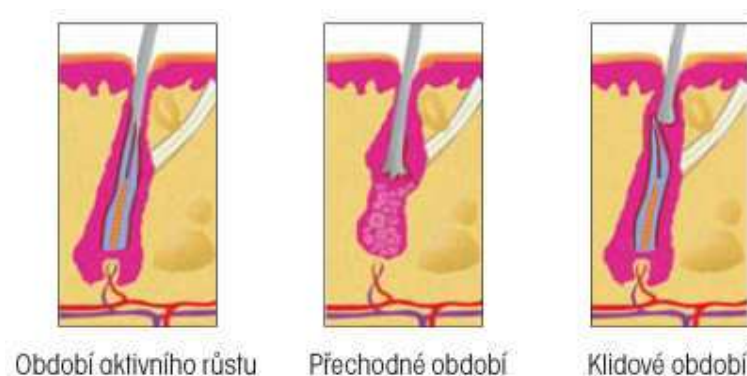
Dřeň se nachází uprostřed vlasu a průměr je dán silou vlasu. Lidské vlasy však nemusí nutně dřeň obsahovat. Její přítomnost však významně zesiluje odraz světla a způsobuje lesk vlasů.

[19][20]

## **5.3 Fáze vlasového růstu**

V průběhu našeho života se vlas neustále obnovuje a jeden vlasový kořínek může vyprodukovat 20 vlasů. Jednotlivý vlas vzniká ve vlasovém váčku na papile. Růst a obnova vlasu se opakuje v pravidelných fázích: růstové, přechodové a klidové. Průběh jednotlivých fází je znázorněn na obrázku 7.

[19][20][21]



Obrázek 7: Fáze vlasového růstu [21]

### Růstová fáze

Vlas roste z papily umístěné na dolním konci vlasového kořínku a je spojena s cévní smyčkou. Ta přivádí k vlasu látky potřebné pro růst a umožňuje buněčné dělení. Vzniklé buňky se postupně pohybují směrem vzhůru k pokožce a pomalu rohovatí (tvoří se keratin). V růstové fázi může vlas setrvat od 2 do 7 let a roste přibližnou rychlostí 1 cm za měsíc. Po té se spodní část kořínků uzavře a dojde k ukončení růstu.

[19][20]

### Přechodová fáze

V tomto období dochází k přerušení přísunu živin. Ustává dělení buněk a vlasový kořínek zakrňuje. Vlas zůstává v této fázi přibližně 3 až 4 týdny a z celkového objemu vlasů na hlavě tvoří cca 1%.

[19][20]

### Klidová (padající) fáze

Období klidu trvá 3 až 4 měsíce, ve kterém se vlas postupně uvolní z papily a pomalu se posouvá směrem vzhůru. Je totiž vytlačován nově vznikajícím vlasem, který zaujme jeho místo. Takto dlouho však vlas nemusí vydržet. Často totiž dochází k předčasnému vypadnutí díky mechanickým vlivům, jako je např. česání či mytí vlasů. V klidové fázi se obvykle nachází cca 14% vlasů.

[19][20]

## 6 Experimentální část

Experimentální část práce se zabývá vývojem metod pro uchycení délkových vlákenných útvarů, jejich měřením pomocí laserového analyzátoru LEA S500. Dále mapováním výskytu chemických prvků v polyamidovém monofilu a lidských vlasech.

### 6.1 Popis testovaných materiálů

Pro měření na laserovém analyzátoru LEA S500 byl zvolen chemlon, přesněji polyamidový monofil a dále dva typy lidských vlasů. Ke všem třem vzorkům byly zhotoveny snímky na REM (rastrovací elektronový mikroskop) a to v podélném pohledu a v příčném řezu.

#### Princip fungování REM

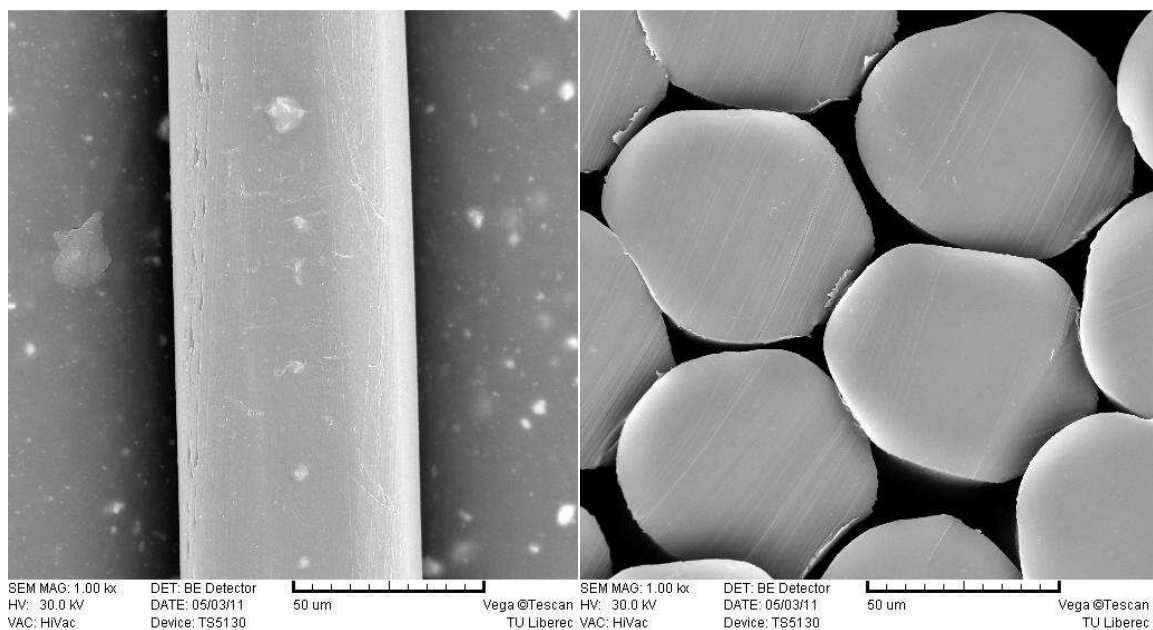
Přístroj využívá k zobrazení zkoumaného vzorku sekundární a odražené elektrony. Zdrojem elektronů je katoda, svazek elektronů je dále usměrněn elektronovou optikou. Těsně nad vzorkem se nachází cívka, která elektronový svazek vychyluje tak, že celý svazek přejíždí po řádcích celou plochu vzorku (rastruje). Odražené nebo sekundární elektrony jsou následně převedeny na optický signál na obrazovce. Pracovní prostor je vakuován a vzorky musí být elektricky vodivé (nanáší se na ně tenká vrstva zlata).

[22]

#### Monofil z PA

Vybraný monofil, který nese na cívce označení chemlon, má jemnot  $T = 3,31$  tex. Jedná se o PA, který je matován  $\text{TiO}_2$ . Na REM byly zhotoveny snímky v podélném a příčném pohledu (viz obrázek) při zvětšení  $10^3$ . Monofil není nikterak tvarován a má téměř kruhový řez.





Obrázek 8: PA - podélný a příčný pohled

## Vlasy

Stav vlasu a v něm obsažené množství prvků může vypovídat mnohé o zdravotním stavu člověka. Vypovídací schopnost pak mají zejména jejich vzájemné poměry. Ve vlasech lze sledovat různé stopové prvky např. Zn, Si, Cu, C, Na či Fe.

[24][25]

Ve vlasech můžeme mapovat výskyt různých stopových prvků nejen vzhledem k jejich intenzitě výskytu, ale lze je hodnotit také z hlediska růstu vlasu za určité časové období. Je známo, že vlas roste přibližnou rychlostí 1 cm za měsíc, po dobu 4 až 6 let. Během tohoto období růstu na něj působí vnější podmínky (česání, mytí, UV záření) a můžou mít vliv na výskyt jednotlivých prvků ve vlasu. Množství prvků také může ovlivnit zdravotní stav člověka.

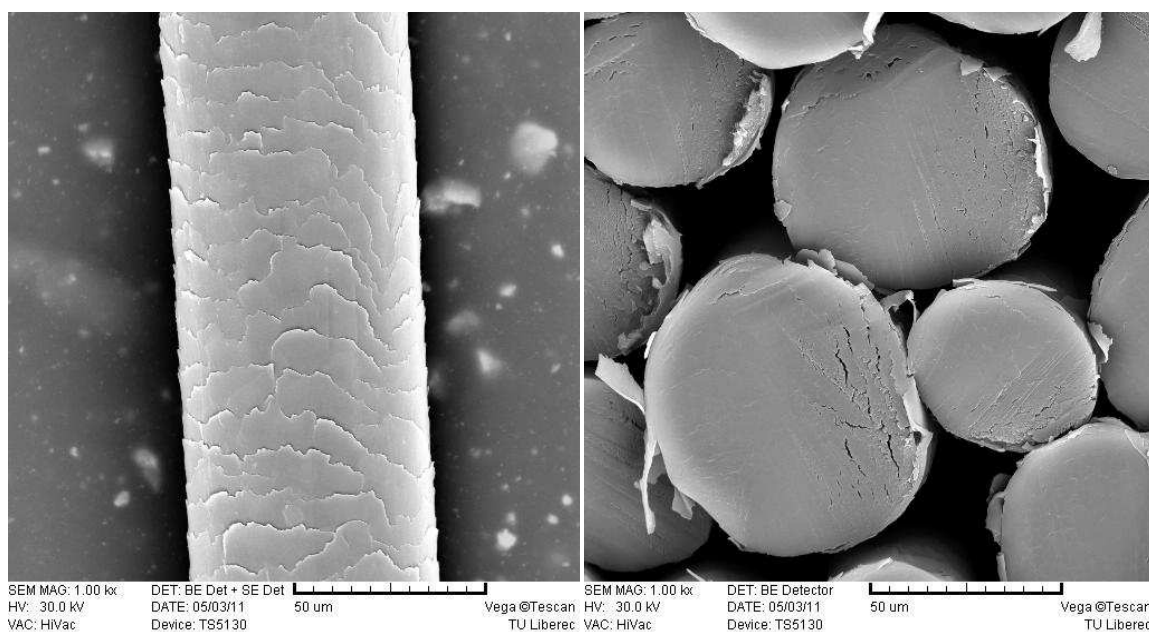
Mapování výše uvedených prvků využilo znalosti o rychlosti růstu vlasu (1 cm/měsíc) a byl sledován výskyt vybraných prvků v čase od kořínku vlasu po jeho konec. Informace nejbližší kořínku vlasu by měli být s ohledem na růstové fáze vlasu nejmladší a naopak nejstarší hodnoty by se měly nacházet na konci vlasu.

Pro lepší určení prvků, které by bylo možné sledovat pomocí metody LIBS, byly vzorky vlasů odeslány na fluorescenční spektroskopii. A protože osoba, která poskytla vzorek vlasů měla po dobu 1 roku kovový implantát v dolní končetině, který si po vyjmutí

ponechala, zapůjčila ho pro analýzu prvků pomocí fluorescenční spektroskopie. Získané hodnoty jsou uvedeny včetně grafického znázornění koncentrací prvků v přílohách.

### Světlé vlasy

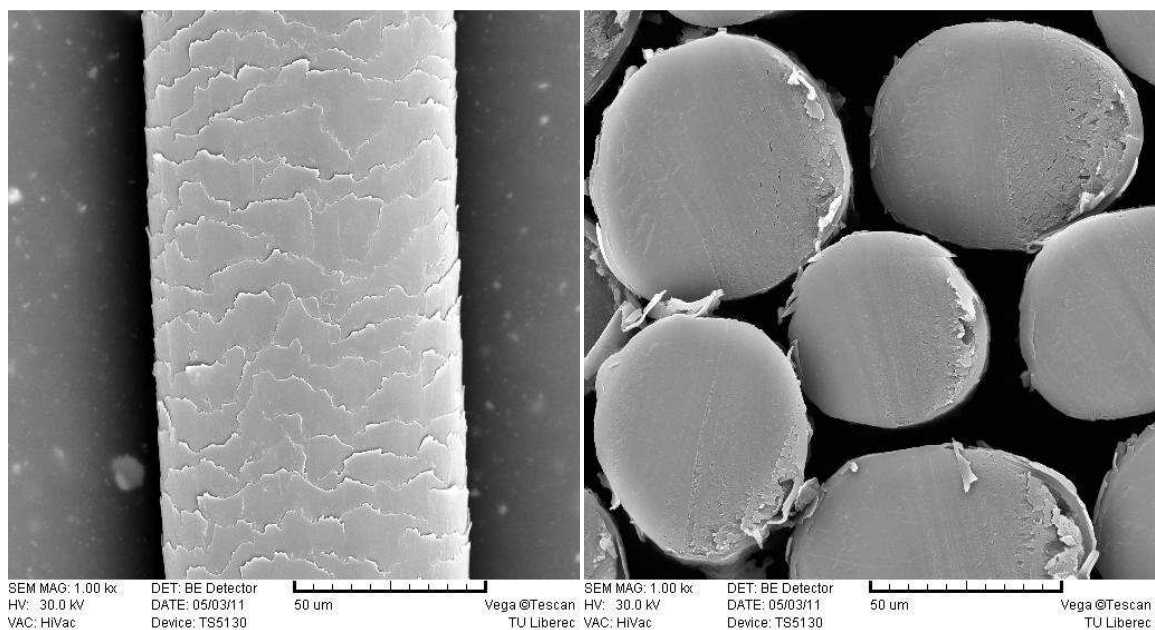
Vzorky světlých vlasů pocházely od osoby ženského pohlaví a nikdy nebyly barveny. Pouze pravidelně zastříhávané poškozené koncečky. Jedná se tedy o vlasy čistě přírodní a poměrně jemné a zdravé, což je patrné na snímcích pořízených REM. V řezu je sice vidět mírné poškození, ale to mohlo vzniknout při přípravě vzorku pro příčný řez. Vlasům nebyla věnována žádná zvýšená péče, jen občasně na ně byl aplikován balzám pro světlé vlasy. Vlasy byly umývány dvakrát týdně.



**Obrázek 9: Světlý vlas - podélný a příčný pohled**

### Tmavé vlasy

Tmavé vlasy pochází také od osoby ženského pohlaví. Jsou již několik let pravidelně barveny a stříhány na délku cca 30 cm. Dále jim byla v nepravidelných intervalech dopřávána vlasová kúra určená pro barvené, tmavé vlasy. Vlasy byly umývány třikrát či vícekrát do týdne. Na snímcích z REM není patrné žádné výrazné poškození a v porovnání se světlým vlasem jsou silnější.



**Obrázek 10: Tmavý vlas - podélný a příčný pohled**

O osobě s těmito tmavými vlasy bylo známo, že v září 2009 prodělala vážnou zlomeninu holenní kosti. Pro léčbu tohoto zranění byla použita tzv. osteosyntéza z chirurgické oceli. Tento kovový implantát byl operativně připevněn k holenní kosti. V září 2010 byl kovový implantát z těla odstraněn. Této informace bylo využito při sledování chemických prvků z hlediska doby před vložení, po vložení a po vyjmutí osteosyntézy.

Osteosyntéza je operační léčba zlomenin, která stabilizuje kostní fragmenty pomocí kovových implantátů (dlahy, šrouby, hřeby). Léčba umožňuje pacientovi po určité době lehce namáhat klouby končetin a přitom zbytečně nezatěžovat hojící se poranění. Po zhojení zlomeniny následuje často odstranění implantátu.

[23]

Ze získaných informací o době, po kterou byl implantát v těle, a kdy byl z organismu vyjmut, bylo spočteno, o kolik centimetrů vlas vyrostl od doby po vyjmutí implantátu a o kolik povyrostl v době, kdy v těle byl tento cizorodý předmět. Poskytnuté vzorky tmavých vlasů byly dostatečně dlouhé, aby umožnily mapování koncentrace prvků s ohledem na zjištěná fakta.

Poskytnuté vzorky byly dlouhé více jak 28 cm. Za předpokladu, že vlas povyroste za měsíc o jeden centimetr, se předpokládalo, že prvních 8 cm délky vlasu od kořínku rostlo v době, kdy v těle již nebyla osteosyntéza. Následujících 12 cm rostlo v době, kdy byl do organismu vložen kovový implantát. Zbývajících 8 cm narostlo v době před vložení implantátu do organismu.

## 6.2 Navržené metody řešení uchycení vláken

Pro upevnění délkových textilií byly navrženy tři možné způsoby uchycení. Při přípravě a manipulaci se vzorky bylo nutné dbát také na čistotu pracovní plochy a rukou, aby nedošlo ke zbytečné kontaminaci vzorků jinými pro měření nežádoucími prvky, které by mohli zkreslit získané výsledky. Navržené metody dále musely splnit základní podmínku, a to, že vlákenné materiály musí být při měření v napnutém stavu. V případě jejich uvolnění nemůže dojít k přesnému zásahu laserem a naměřené hodnoty tak nelze považovat za relevantní. Připravené vzorky byly ukládány jednotlivě do plastových uzavíratelných sáčků, aby se zamezilo zbytečnému kontaktu s okolním prostředím a následné kontaminaci jinými prvky.

### 6.2.1 Metoda první - lepicí páska na kovovém podstavci

Jako první způsob uchycení monofilu bylo navrženo umístění jednotlivých vláken přímo na oboustrannou lepicí pásku, která byla z jedné strany přilepena na kovový podstavec (viz obrázek 8). Nespornou výhodou této metody je snadná a poměrně rychlá příprava vzorků přímo na místě měření.



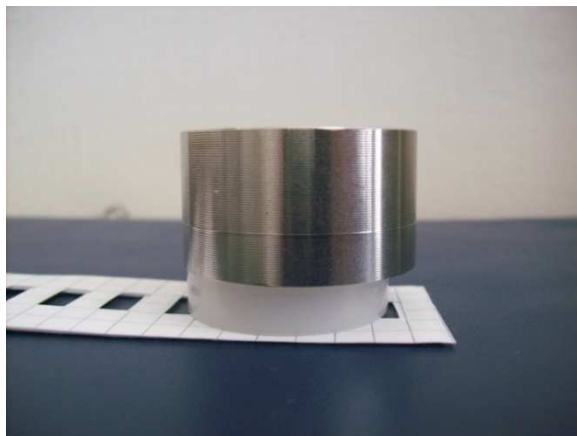
Obrázek 11: kovový podstavec

### 6.2.2 Metoda druhá - velké okénko vystřižnuté do čtvrtky

Druhý způsob řešení problematiky je založen na tvorbě okének ve čtverečkováném papíru a využití oboustranné lepicí pásky jako úchyty délkových útvarů. Aby následně nedošlo k nežádoucímu přichycení vzorků k jiným předmětům, byli části s lepicí páskou a vzorky zakryty papírem s vytvořenými okénky. Jako podkladový materiál byla zvolena tvrdá papírová čtverečková čtvrtka a jako krycí vrstva též čtverečkový papír, ale z trhacího bloku. Jako pojivo sloužila již zmíněná oboustranná lepicí páska. Do takto připravené

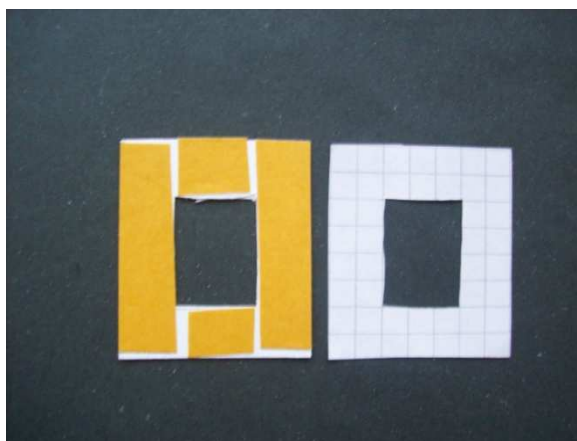
šablony lze vlákna snadno vložit a zajistit jejich dostatečné napnutí. Zároveň nedochází v místech určených pro měření ke kontaktu s lepicí páskou.

Aby nedocházelo k nežádoucímu posunu měřených vzorků v komoře, byly zatěžkány kovovým podstavcem. Mezi ním a měřeným vzorkem byl dále umístěn plastový kroužek. Tak bylo zajištěno, že se kovový materiál přímo nedotýkal vzorků a v naměřeném spektru se neobjevovali chem. prvky z tohoto závaží a nedocházelo k ovlivnění výsledků (viz obrázek 9).



**Obrázek 12: Uspořádání šablony, kroužku a kovového závaží**

Nejprve byla zkoušena metoda s jedním vyříznutým obdélníkem, lze vidět na obrázku 10.



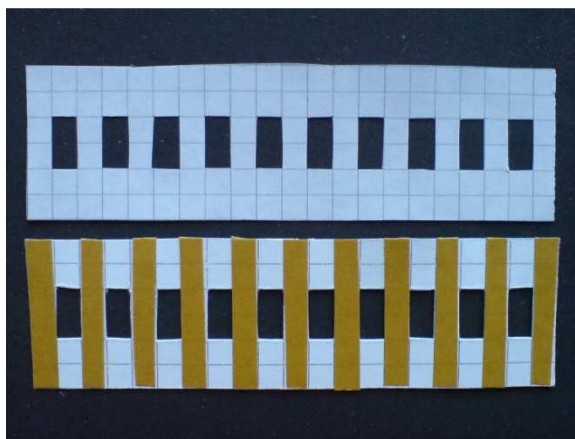
**Obrázek 13: Šablona s velkým okénkem**

Každý obdélník obsahoval různý počet monofilu. Většímu počtu byl ručně udělen mírný zákrut, aby již zmíněná vlákna byla co nejvíce u sebe a měření tak bylo co nejpřesnější. Rozměry šablony jsou: 40 x 35 mm, vytvořené okénko má rozměry 20 x 15mm. Délka možného měřitelného vzorku je max. 20 mm a lze tak daný vzorek proměřit na více místech. Jistou nevýhodou je možnost přetržení jednotlivých vláken

paprskem laseru. Při dalším měření stejného vzorku, již nemusíme paprskem laseru zaměřit všechna vlákna a může dojít ke zkreslení výsledků.

### 6.2.3 Metoda třetí - šablona s více okénky

Poslední navržený způsob uchycení vláken vychází také z předchozí metody. Liší se však v rozměrech a počtu jednotlivých okének (viz obrázek 11).



Obrázek 14: Šablona s malými okénky

Rozměry této šablony jsou: 150 x 30 mm a velikost jednotlivých okének: 5 x 10 mm. Celkový počet okének byl stanoven na 10, ale v případě potřeby měření delšího materiálu je možné počet okének navýšit. Toto řešení zajistilo, že byl vždy měřen známý počet vláken. Tyto rozměry však neumožnily umístit celý připravený vzorek do testovací komory. Proto byl těsně před samotným měřením rozdělen na dvě části. I zde bylo nutné zkoumaný vzorek zatížit výše popsaným způsobem.



## 7 Testování metodiky uchycení vláken

Výše navržené způsoby uchycení vláknenných útvarů bylo nutné otestovat a vyhodnotit jejich vhodnost vzhledem ke zkoumaným materiálům a sledovanému výskytu prvků. V případě polyamidu se jednalo o mapování prvku Ti. Výskyt zvoleného prvku byl sledován v oblasti o vlnové délce 321 – 351 nm..

Pro mapování množství titanu v monofilu byl vybrán peak titanu v oblasti 334,918 nm. Od této hodnoty se následně odečetlo pozadí. Tímto způsobem bylo zjištěno množství titanu po jednotlivých odpalech.

### Nastavení podmínek hardwaru

The screenshot shows the ATILLA 2 software interface in ADVANCED mode. The 'Hardware' tab is selected, displaying configuration parameters for the detector, spectrometer, vacuum, and laser.

Detector	
Name	Value
Scan array	1
As active graph	YES
Accumul. type	Aver
Accumul. count	3
Counter limit	1
Make blank flashes	NO
Blank flashes count	5
Backgr. subtr.	YES
Store series, mkm	NO
Update view each scan?	NO

Spectrometer	
Name	Value
Wavelength, nm	336
Slit width, mkm	35
Turning slit	0
Turn. slit mode	Auto
Filter	1: 0...380
Use WL correction?	YES
Auto WL correction	YES
Telescope, mkm	500
Light	255

Vacuum	
Name	Value
Leak	500
Auto Vacuum	NO
Auto clean	NO
Pump time, msec	3000

Laser	
Name	Value
Lamp energy, J	15
Q-SW1 delay, mks	140
Q-SW2 delay, mks	147
Single channel	2-impulse

Buttons: Copy, Paste, Apply

Obrázek 15: Nastavení hardwaru

### 7.1 Metoda první – lepicí páska na kovovém podstavci

Oboustranná lepicí páska se nejdříve měřila samotná bez vzorků a pak se vzorky. Již první měření samotné pásky však ukázala, že páska, pravděpodobně lepicí adheze, obsahuje

množství Ti, který poté může mít vliv na naměřené hodnoty Ti ve vzorcích. Proto pásku jako podkladový materiál pro vlákna a jiné délkové útvary, ve kterých by měl být sledován výskyt Ti, nelze doporučit jako ideální řešení.

## **7.2 Metoda druhá a třetí**

Vzhledem ke skutečnosti, že při využití metody LIBS na přístroji LEA S500 se jedná o destruktivní metodu, bylo předpokládáno, že se snižujícím se počtem vláken umístěných v šablonách bude docházet častěji k jejich přetrhu. Proto bylo měření započato se vzorkem obsahujícím nejdříve deset vláken, kterým byl ručně udělen mírný zákrut. Počet vláken byl poté v jednotlivých šablonách snižován.

### **7.2.1 Šablona s jedním velkým okénkem**

Do jednotlivých vzorků umístěných v šabloně s velkým okénkem bylo provedeno postupně deset odpalů laserem. Takto bylo změřeno pět šablon a to s počtem vláken od 10 do 6. V případě 5 vláken již nebylo možné provést více odpalů laserem, protože po prvních odpalech došlo k přetržení a následnému uvolnění vláken ze šablony, jak lze možné vidět na obrázku 16. Uvolněná vlákna pak již dále nebylo možné řádně změřit.



**Obrázek 16: Velké okénko s přetrženými vlákny a viditelnými zásahy laserem**  
[rozlišení: 4x0,6 (1,98 m/px ;1280x960 bodů)]

### **7.2.2 Šablona s více okénky**

Tato šablona obsahovala 10 malých okének o šířce 0,5 mm a jednotlivé vzorky byly proměřovány ve vzdálenosti 10 mm. Do každého okénka bylo páleno laserem pouze jednou. Tímto způsobem bylo vždy páleno do konstantního počtu vláken a získané hodnoty neovlivnila destrukce a následné uvolnění vláken.



Do šablon byla umístěna postupně vlákna od 1 do 10. Následně byl mapován výskyt Ti s ohledem na počet vláken uchycených v šablonách. Předpokládal se postupný nárůst hodnot s přibývajícím počtem vláken v šabloně.

## **8 Mapování stopových prvků ve vlasech**

Pro mapování prvků ve vlasech byla zvolena jako vhodná metoda uchycení šablona s více okénky. Do připravených šablon bylo umístěno 10 vlasů, kterým byl ručně udělen mírný zákrut. Ve vlasech byly následně sledovány prvky Ca, Ti, Cu, Zn, C a Si. Pro mapování těchto prvků byly vybrány dva programy, které měly odlišné hardwarové nastavení a ve kterých bylo možné mapovat výskyt odlišných prvků.

Nastavení a optimalizace podmínek pro vybrané prvky však vyžaduje poměrně velké množství připravených vlasů k měření. A to vzhledem k destrukčním vlivům použité metody. Přesto mapování koncentrace prvků ve vlasech není nemožná. Složitě může být následné vyhodnocení naměřených hodnot.

Pro uchycení vlasů byla zvolena jako nejvhodnější metoda šablona s více okénky. Počet okének se odvíjel od délky získaných vzorků vlasů. Světlé vlasy byly umístěny vzhledem ke své kratší délce do šablony s 10 okénky. Naopak tmavé vlasy byly uchyceny do šablony s 28 okénky. Vzhledem k délce zhotovených vzorků, které se v celku nevešly do komory sloužící k měření, došlo k jejich přestřižení těsně před jejich vložením do měřicí komory.

### **Oblast o vlnové délce 235 – 265 nm**

V tomto zvoleném programu a regionu byl mapován výskyt dvou prvků – uhlíku a křemíku. Koncentrace uhlíku byla sledována v oblasti 251, 599 nm a koncentrace křemíku v oblasti 247,857 nm.

Nastavení hardwaru ukazuje obrázek 17.

ATILLA2 - running in ADVANCED mode

Databases Tools Analyze

Scan in region

Programs **Hardware** Spectra Calibration Samples Event log Video Analysis

Region parameters Current device state Global parameters

**Detector**

Name	Value
Scan array	24
As active graph	YES
Accumul. type	Aver
Accumul. count	2
Counter limit	1
Make blank flashes	NO
Blank flashes count	1
Backgr. subtr.	YES
Store series, mkm	YES
Update view each scan?	YES

**Spectrometer**

Name	Value
Wavelength, nm	250
Slit width, mkm	40
Turning slit	3.3
Turn. slit mode	Auto
Filter	1: 0...380
Use WL correction?	YES
Auto WL correction	YES
Telescope, mkm	400
Light	254

**Vacuum**

Name	Value
Leak	65000
Auto Vacuum	NO
Auto clean	NO
Pump time, msec	6000

**Laser**

Name	Value
Lamp energy, J	25
Q-SW1 delay, mks	140
Q-SW2 delay, mks	147
Single channel	2-impulse

Copy Paste Apply

Obrázek 17: Hardwarové nastavení pro oblast o vlnové délce 235 – 265 nm

### Oblast o vlnové délce 315 – 345 nm

V rozmezí vlnové délky 315 – 345 nm byl sledován výskyt vápníku, titanu, mědi a zinku. Koncentrace těchto prvků byly sledovány v oblastech:

- vápník: 247,857 nm,
- titatn: 334,917 nm,
- měď: 324,732 nm,
- zinek: 330,24 nm.

Podmínky nastavení hardwaru jsou zobrazeny na obrázku 18.

ATILLA2 - running in ADVANCED mode

Databases Tools Analyze

Scan in region

Programs **Hardware** Spectra Calibration Samples Event log Video Analysis

Region parameters Current device state Global parameters

**Detector**

Name	Value
Scan array	78
As active graph	YES
Accumul. type	Aver
Accumul. count	2
Counter limit	1
Make blank flashes	NO
Blank flashes count	0
Backgr. subtr.	YES
Store series, mkm	NO
Update view each scan?	NO

**Spectrometer**

Name	Value
Wavelength, nm	330
Slit width, mkm	20
Turning slit	0
Turn. slit mode	Auto
Filter	1: 0...380
Use WL correction?	YES
Auto WL correction	YES
Telescope, mkm	200
Light	255

**Vacuum**

Name	Value
Leak	2000
Auto Vacuum	NO
Auto clean	NO
Pump time, msec	3000

**Laser**

Name	Value
Lamp energy, J	25
Q-SW1 delay, mks	140
Q-SW2 delay, mks	147
Single channel	2-impulse

Copy Paste Apply

Obrázek 18: Hardwarové nastavení pro oblast o vlnové délce 315 - 345 nm

## 9 Diskuze

Předmětem diskuze jsou výsledky získané využitím metody LIBS v závislosti na metodikách uchycení zkoumaných vláknenných materiálů. V případě polyamidu byl mapován zmíněný Ti. Ve vlasech bylo sledováno již více prvků, které jsou uvedeny výše. Hodnoty těchto prvků byly sledovány s přihlédnutím k růstovým fázím vlasu.

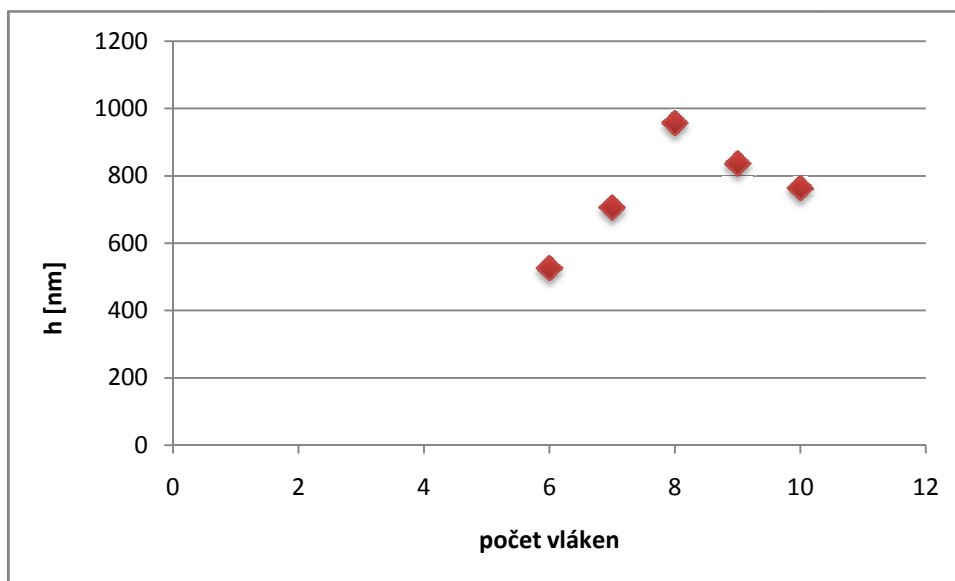
### 9.1 Hodnocení navržených metod uchycení vláken

Kovový podstavec s lepicí páskou

Monofil z polyamidu byl proměřován třemi navrženými metodikami. Jako první byl upevněn na oboustrannou lepicí pásku, která před tím byla upevněna na kovový podstavec. Měření samotné pásky však ukázalo, že lepicí adheze obsahuje prvky Ti. Při umístění vláken na pásku pak mohlo při měření docházet ke zkreslování hodnot Ti. Na zkreslení získaných výsledků se také mohl podílet fakt, že nelze přesně zaměřit jen daný vzorek. Část laserového paprsku tedy zasáhl i lepicí pásku. Spektrum z takto získaného plazmatu tedy obsahovalo i prvky Ti z lepicí pásky. Z tohoto důvodu nelze daný způsob uchycení vláknenných materiálů doporučit, mají-li být ve zkoumaných vzorcích primárně mapovány hodnoty titanu.

Šablona s jedním okénkem

Druhý způsob uchycení vláken se zdál být přeci jen slibnější. Vlákna byla upevněna do velkého okénka a měřitelná část vláken se žádným způsobem nedotýkala lepicí pásky. Mapoval se opět prvek Ti. Před samotným měřením však byl předpoklad, že čím více vláken bude uchyceno do navržené šablony, tím spíše budou získané hodnoty přesnější. Proto byly připraveny šablony s počtem vláken od 10 do 1. Tímto způsobem bylo měřeno pět šablon s vlákny od 10 do 5. Při měření pěti vláken však po prvních odpalech došlo ke značné destrukci vzorku, která neumožňovala další proměřování. Vzorky s 10 až 6 vlákny byly proměřeny na deseti různých místech. Poslední vzorek byl poměřen pouze pětkrát, protože přepálená vlákna již nešlo zaměřit. Výsledky získaných hodnot zobrazuje graf č.1.



**Graf 1: Průměrné hodnoty  $T_i$  naměřené v šabloně s jedním velkým okénkem**

Lze tedy tvrdit, že tato metodika uchycení vláken je vhodnější a spolehlivější oproti prvnímu navrženému způsobu. Avšak s navyšujícím se počtem odpalů do konkrétního vzorků získané hodnoty kolísají a snižují se. Především se na tom podílí skutečnost, že po odpalu laserového paprsku dochází k destrukci vláken, která se tak postupně trhají, uvolňují a stávají se neměřitelnými. V důsledku této skutečnosti nemáme již jistotu, že s přibývajícím počtem odpalů stále měřím konstantní počet vláken při prvním odpalu. Tuto skutečnost lze pozorovat na obrázku 19 pořízeném optickým mikroskopem, kde je přetržení vláken jasně patrné.

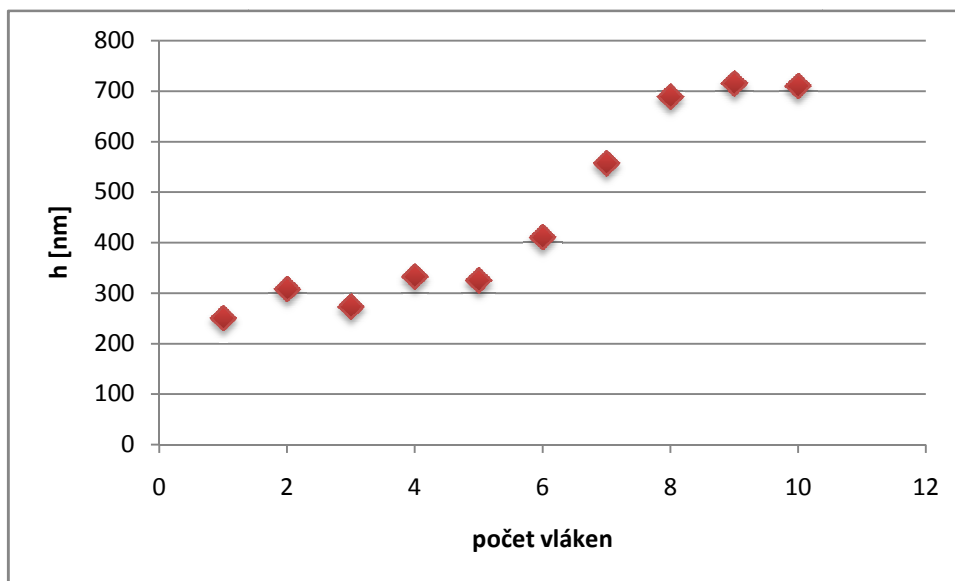


**Obrázek 19: Velké okénko s několika přetrženými vlákny**  
[rozlišení: 4x0,6 (1,98 m/px ; 1280x960 bodů)]

### Šablona s více okénky

Poslední navrženou metodou bylo vytvoření šablony s větším počtem okének. Tato vytvořená okénka byla sice výrazně menší v porovnání s předchozí metodou, ale umožňují přesnější měření vláken po délce vždy v neměnném počtu uchycených vláken do šablony.

Získané hodnoty tak spíše zaručují přesnější výsledky velikosti peaků vybraných prvků. V případě polyamidových vláken byl počet okének optimalizován na 10.



**Graf 2: Naměřené průměrné hodnoty Ti při použití metody s malými okénky**

Graf č. 2 zobrazuje průměrné hodnoty získané při měření narůstajícího počtu vláken uchycených do navržené šablony. Opět bylo připraveno deset vzorků s počtem vláken od 1 do 10. Z grafu č. 2 je patrné, že počet vláken je přímo úměrný ke koncentraci daného prvku.

Nejnižší hodnoty koncentrace zvoleného prvku pochází ze šablon, ve kterých byly uchyceny vlákna od 1 do 3. Tyto vzorky nebyly dostatečně široké a vzhledem k velikosti nastavení spotu docházelo při odpalu laserového paprsku k neúplnému zásahu uchycených vláken. Zbývající záření šlo mimo tato vlákna a množství vybuzeného plazmatu nebylo dostatečně velké pro získání vyšších koncentrací. Při postupném navyšování vláken od počtu 4 vláken v šabloně po 7 vláken v šabloně se také postupně zvyšují koncentrace daného prvku. Tím jak byl počet vláken zvyšován, zvětšovala si i plocha zhotoveného vzorku. Laserové pulsy tak více zasahovaly vzorek z větší části oproti vzorkům s menším počtem vláken. Přesto docházelo k postupnému navyšování průměrných koncentrací. Nejvyšší koncentrace byly zaznamenány až při počtu 8 vláken a k jejich ustálení došlo při počtu 9 a 10 vláken uchycených do šablon. Tyto vzorky jsou na rozdíl od vzorků s menším počtem vláken již dostatečně široké, a proto je laserový paprsek zasahuje v celé jejich šířce a jen malá část paprsku daný vzorek nezasahuje.

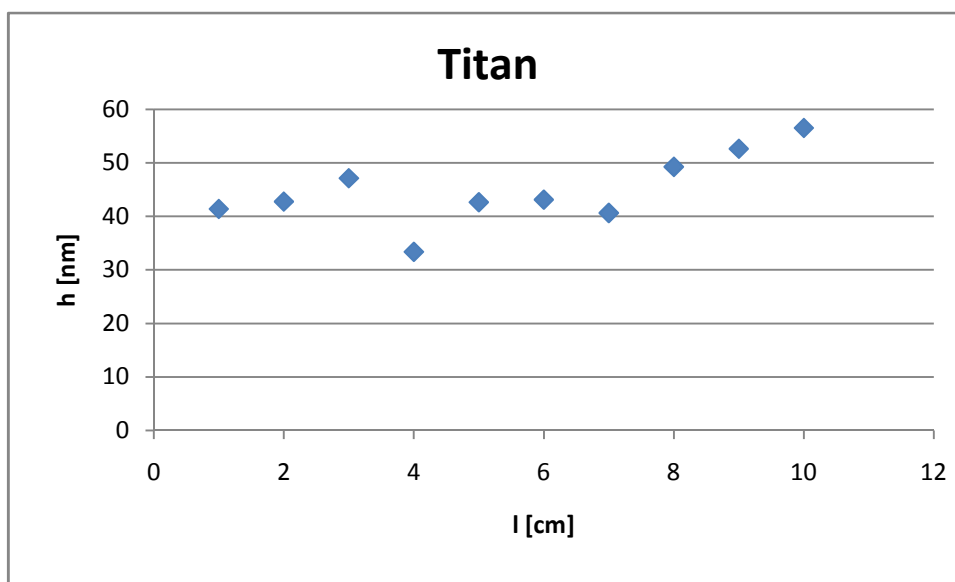
Ze získaných výsledků jednotlivých měření navrhnutých metod vyplývá, že jako nejméně vhodná metodika uchycení vláken se jeví metoda s oboustrannou lepicí páskou upevněnou

na kovový podstavec. Daleko lepších výsledků při měření bylo dosaženo při uchycení vláken do jednoho velkého okénka. Ovšem ani tento způsob není ideální, protože nezaručuje, že budeme laserem pálit do neměnného počtu vláken. Jako nejvhodnější metoda se ukázal poslední navržený způsob uchycení vláken a to vytvoření šablony s více okénky. A co okénko, to jeden odpal laserovým paprskem. Tímto způsobem byla eliminována možnost odpalů do svazku vláken poškozeného předchozím odpalem. Dále umožnila sledování změn koncentrace vybraných prvků po celé délce vláken.

## 9.2 Vlasy

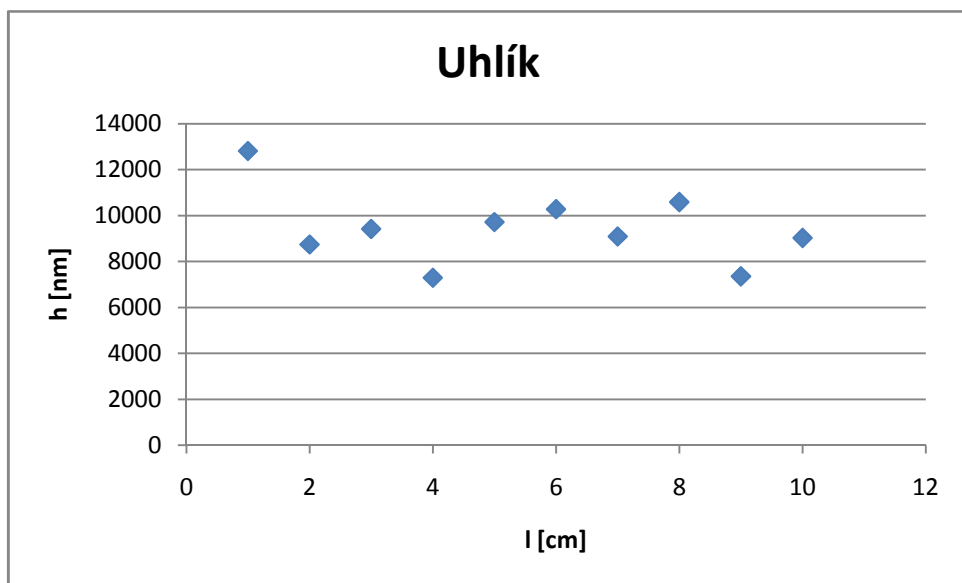
Měření světlých i tmavých vlasů proběhlo za nastavení hardwarových podmínek, které jsou uvedeny výše.

### Světlé vlasy



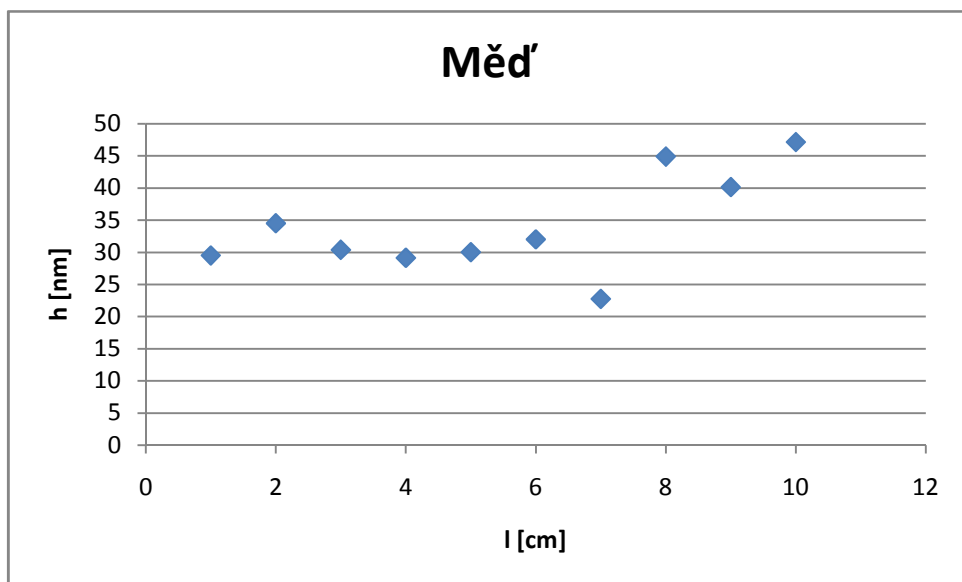
Graf 3: Koncentrace titanu ve světlých vlasech

Graf č. 3 znázorňuje koncentraci titanu v přírodních vlasech. Na první pohled jsou získané hodnoty téměř konstantní a výrazněji se zvyšují až na u konce vlasů, které jsou coby do růstu vlasu nejstarší a množství daného prvku může ve větší míře ovlivnit vnější okolí vlasu. Přestože fluorescenční analýza neprokázala přítomnost tohoto prvku v žádném zkoumaném vzorku vlasu, nelze vyloučit možnost jeho výskytu ve vlasech, jak dokazují získané hodnoty při využití metody LIBS. Do vlasů se mohl dostat právě z vnějšího okolí např. používáním šamponu a jiných prostředků při ošetřování vlasů, které mohou obsahovat nepatrné částice  $\text{TiO}_2$ .



**Graf 4: Koncentrace uhlíku ve světlých vlasech**

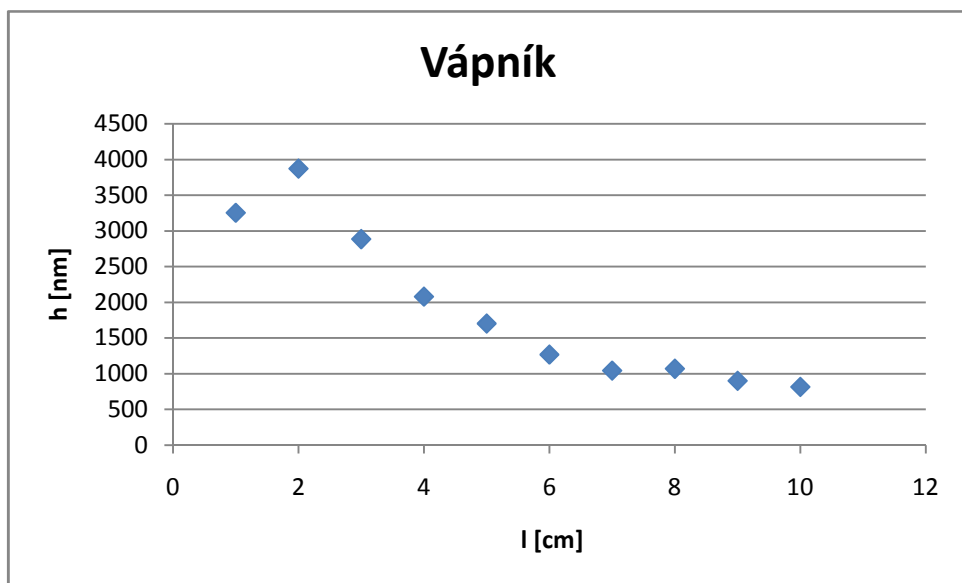
Dalším mapovaným prvkem ve vlasech byl uhlík. Jeho koncentraci v délce zkoumaného vzorku znázorňuje graf č. 4. Zajímavé je, že nejvyšší hodnota byla naměřena velmi blízko kořínků vlasů, tedy v místech, kde je vlas nejmladší. Další hodnoty již tak výrazně nekolísají vzhledem ke stáří vlasu. A podle rozložení koncentrace uhlíku, lze usoudit, že nastavení hardwarových podmínek je vhodně zvolené.



**Graf 5: Koncentrace mědi ve světlých vlasech**

Koncentraci mědi ve světlých vlasech znázorňuje graf č. 5. Naměřené hodnoty se pohybují na přibližně stejné úrovni. Jen posledních 3 cm vlasů došlo k výraznějšímu nárůstu. I zde se nabízí možné vysvětlení v podobě vlivu okolního prostředí. Koncentrace hodnot mědi se pohybuje v přibližně ve stejném rozsahu jako koncentrace titanu zobrazeného na grafu č. 3.

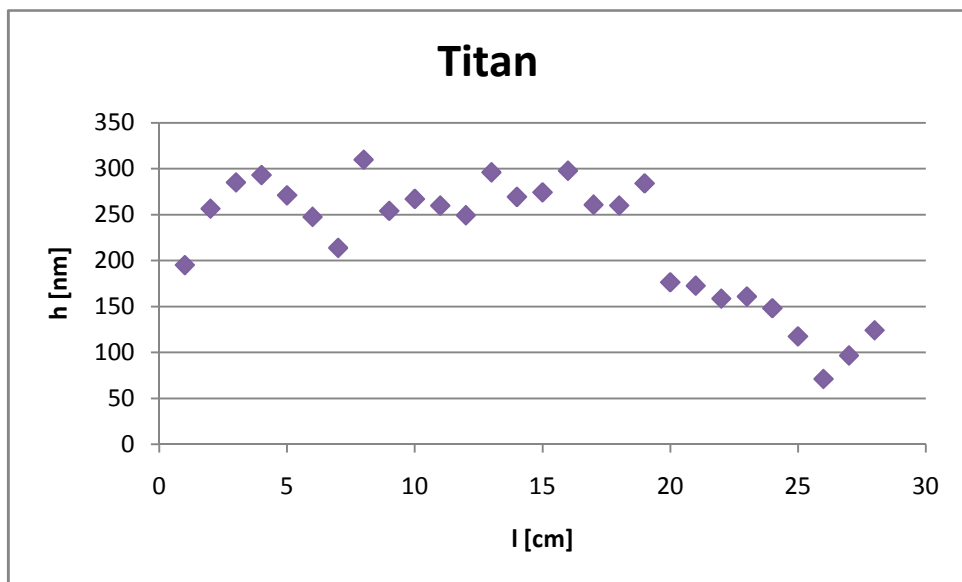




**Graf 6: Koncentrace vápníku ve světlých vlasech**

V případě světlého vlasu má koncentrace vápníku klesající tendenci. Na počátku vlasu, blíže ke kořínku jsou hodnoty zvýšené, což může být dáno právě růstem vlasu a jeho vyživováním. Směrem ke konečkům vlasu se hodnoty snižují a koncentrace daného prvku je téměř konstantní. Před vyhodnocením koncentrace tohoto prvku však byl předpoklad, že se bude ve vlasech vyskytovat rovnoměrně. Tato domněnka se však nepotvrdila.

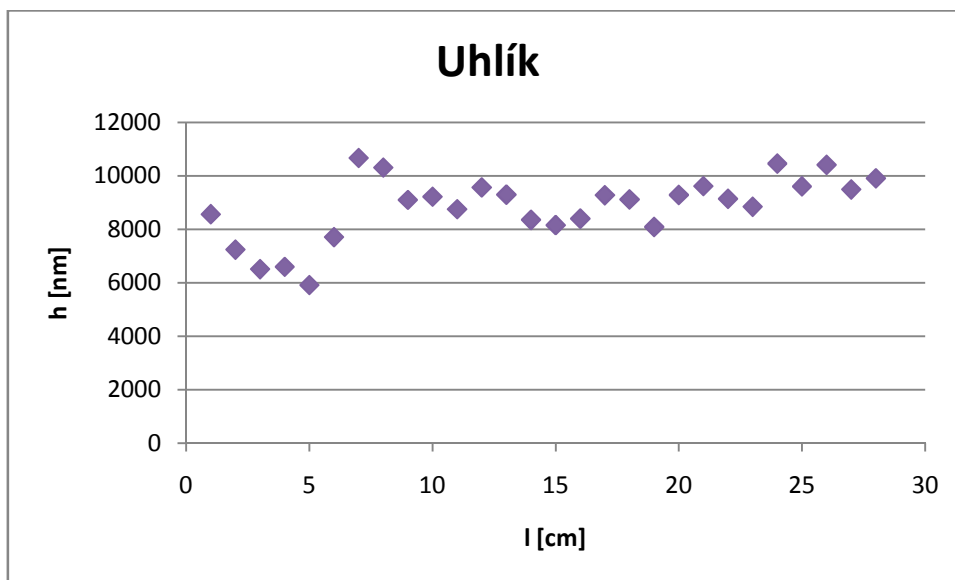
### **Tmavé vlasy**



**Graf 7: Koncentrace titanu v tmavých vlasech**

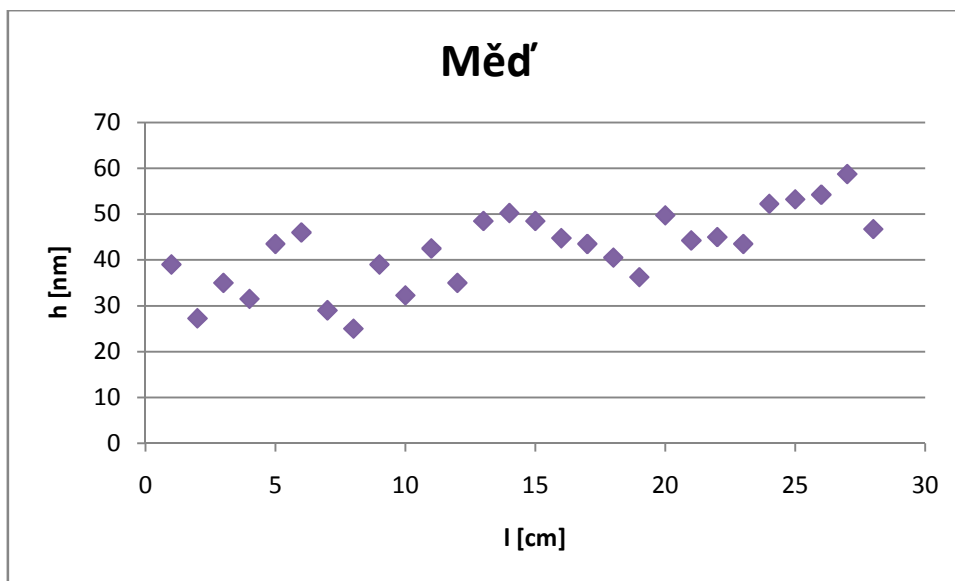
Z grafu č. 7 lze vyčíst, že koncentrace titanu se nepohybuje nikterak chaoticky. Výraznější nárůst koncentrace je patrný od 9 do 20 cm. Poté následuje výraznější snížení koncentrace daného prvku. Toto kolísání mohla ovlivnit skutečnost, že vlas pochází od osoby, která

měla po jistou dobu v dolní končetině kovový implantát, jak bylo uvedeno výše. Oblast s výrazně nižší koncentrací daného prvku představuje období před vložením kovového implantátu do končetiny. Střední část představuje období, po které byl tento implantát ponechán v těle. Po jeho vyjmutí však došlo k prudkému snížení koncentrace. Po té však postupně opět narůstala a následně opět klesala.



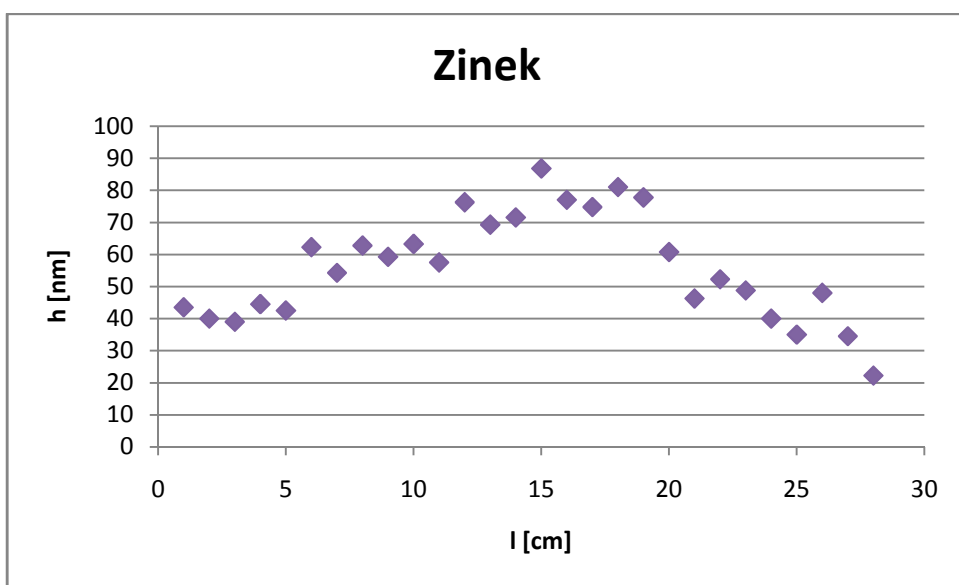
**Graf 8: Koncentrace uhlíku v tmavých vlasech**

Graf č. 8 představuje koncentraci uhlíku. Hodnoty jsou poměrně vysoké a vykazují trend mírně se zvyšovat přímo úměrně k přibývající délce vlasu. Jak analyzovaný vzorek tmavých vlasů stárne, dochází k pomalému zvyšování koncentrace uhlíku. Tento trend by mohl být dán nejen vlivem okolních podmínek, ale také by se na něm mohla podílet skutečnost, že se v organismu nacházel kovový implantát a mohl tak koncentraci daného prvku ovlivňovat.



**Graf 9: Koncentrace mědi v tmavých vlasech**

Z grafu č. 9 je patrné, že koncentrace mědi se prvních 8 cm kolísala, po té se opět celkem prudce zvyšovala. Mírný pokles nastal až okolo 20 cm, ale následně opět začala stoupat. Podle průběhu koncentrace daného prvku, můžeme usoudit, že na jeho pokles, následný růst, opětovný pokles a následný růst mohl mít vliv i kovový implantát.



**Graf 10:**

**Koncentrace zinku v tmavých vlasech**

Graf č. 10 představuje koncentraci zinku mapovaného v tmavých vlasech. Dá se zde vysledovat určitý trend, který naznačuje, že výskyt daného prvku by mohl být ovlivněn obdobími před vložením implantátu, po jeho vložení a poté jeho vyjmutím z dolní končetiny.

## Závěr

V teoretické části práce se popisuje princip metody LIBS, její vývoj, výhody a nevýhody a možné oblasti využití. Metoda je stále více využívána a mnohé vědecké práce se zabývají jejím využitím při analýzách různých vzorků v pevné, plynné či kapalně podobě. Existuje mnoho typů analyzátorů, které pracují na principu LIBS. V této práci byl použit laserový analyzátor LEA S500 běloruské firmy pro analýzu prvkového složení textilních vláknenných struktur. První část práce se dále zabývá charakteristikou přístroje LEA S500, vláknennými materiály, které předloženy k analýze. Jedná se o monofil z polyamidu a lidské vlasy. A dále popisuje chemický prvek titan, který ve formě oxidu titaničitého slouží k matování syntetických vláken. Z tohoto důvodu byla analýza monofilu zaměřena na mapování koncentrace titanu. Tento prvek byl také dále sledován v získaných vzorcích vlasů.

Praktická část práce se již zabývá popisem jednotlivých materiálů z hlediska jemnosti, šířky a struktury. K lepšímu popisu charakteristik jsou k jednotlivým vláknenným materiálům přiloženy snímky pořízené na REM. U vlasů je dále krátká charakteristika, jaká péče jim během růstu byla věnována, zda se jedná o přírodní či barvené vzorky a u tmavých vlasů je popsána i zdravotní komplikace majitele, která by podle získaných výsledků měření mohla mít vliv na výskyt jednotlivých mapovaných prvků.

Aby vůbec bylo možné tyto vláknenné materiály měřit, zabývá se praktická část také vývojem metod vhodných pro jejich uchycení. Byly navrženy tři různé způsoby uchycení, které pak byly následně ověřeny. První způsob představuje přilepení oboustranné lepicí pásky na kovový podstavec a následné položení vlákna na lepicí pásku. Druhá metoda spočívá ve vytvoření šablony s jedním velkým okénkem, do kterého je možné uchytit různý počet vláken. A postupně do vzniklého vzorku míříme paprskem laseru. Poslední, třetí metoda, vychází z vytvoření šablony s okénkem. Ale došlo k jeho zmenšení a navýšení počtu těchto malých okének.

Následným ověřováním vhodnosti navržených způsobů uchycení byl první návrh označen za nevhodný. Důvodem bylo zjištění, že samotná lepicí páska obsahuje prvky Ti. Při mapování tohoto prvku ve vláknech jeho přítomnost v pásce ovlivňovala naměřené hodnoty. Metodu však nelze označit za nevhodnou, protože ji lze použít pro mapování prvků, které lepicí páska neobsahuje.

Druhý způsob se po prvních měřeních zdál jako ideální. Ale potvrdil se předpoklad, že se zvyšujícím se počtem odpalů dochází k destrukci vláken, k jejich přetržení a uvolnění. Takto přetržená vlákna již není možné dále zaměřit laserem a nedochází ke vzniku mikroplazmatu, nutného pro spektrální analýzu.

Třetí metoda se sice taky zakládá na tvorbě okénka, ale to je podstatně menší a v připravené šabloně jich může být téměř libovolný počet. Pro účely ověření byl počet okének stanoven na 10 a do každého okénka byl zaměřen laserový paprsek pouze jedenkrát. Následná možná destrukce vláken tak neovlivňovala koncentraci mapovaných prvků. Naopak vliv na koncentraci daného prvku měl počet vláken uchycených v šabloně. Při nízkém počtu vláken byly měřeny nízké koncentrace a s navyšujícím se počtem vláken v šablonách, tyto hodnoty postupně rostly. K ustálení koncentrace daného prvku došlo až při počtu 8, 9 a 10 vláken. Naměřené průměrné hodnoty se od sebe lišily jen nepatrně.

Práce se dále také zabývá mapováním koncentrace prvků Ca, Ti, Cu, Zn, C a Si. Proměřovány byly dva typy vlasů. První druh vlasů byl světlý a nebarvený, druhý byl naopak tmavý a barvený. Dále byla zjištěna od osob, které poskytly své vlasy, jak o ně pečují a zda v období růstu neprodělaly např. vážnější zdravotní komplikace. Protože na růst, výživu a koncentraci vybraných prvků mohli mít tyto komplikace vliv.

Ve světlých vlasech koncentrace zvolených prvků výrazně nevybočují a potvrzují hypotézu, že by jejich zastoupení mělo být ve vlasu rovnoměrné s přihlédnutím na působení vnějších vlivů v průběhu růstu vlasů. Nejvýraznější rovnoměrný pokles koncentrace byl zaznamenán pouze u vápníku. Přesné důvodu jeho snižování však nelze určit. Lze se domnívat, že podíl na tom má právě stáří vlasu a doba, po kterou byl vystaven vnějším vlivům.

Výraznějších změn koncentrace zvolených prvků lze sledovat u druhého vzorku. Vlasy byly sledovány v mnohem delším časovém úseku. Délka vlasu byla s ohledem na znalost historie růstu vlasu rozdělena na tři různě dlouhé úseky. Ty přibližně odpovídaly obdobím před úrazem, době vložení implantátu a období po jeho vyjmutí. Získané koncentrace sledovaných prvků celkem dobře korespondovali s těmito úseky.

## Literatura

- [1] *LIBS laboratory* [online]. 2009 [cit. 2011-03-23]. Fyzikální princip LIBS. Dostupné z WWW: <<http://physics.fme.vutbr.cz/libs/index.php/cs/teorie/fyzikalni-princip-libs-zaklady>>.
- [2] PASQUINI, C., CORTEZ, J., SILVA, L., GONZAGA, F. B.: Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Review, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, CP 6154 13084-971, 2007
- [3] *Gymhust.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-03-13]. Double pulse LIBS. Dostupné z WWW: <<http://gymhust.cz/projekty/LIBS.pps>>
- [4] *Andor technology* [online]. 2011 [cit. 2011-04-04]. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). Dostupné z WWW: <[http://www.andor.com/learning/applications/Laser-Induced\\_Breakdown/](http://www.andor.com/learning/applications/Laser-Induced_Breakdown/)>solarti.com
- [5] *Solartii.com* [online]. 2008 [cit. 2011-03-20]. Analytical Instruments. Dostupné z WWW: <[http://solartii.com/analytical\\_instruments/lea-s500.htm](http://solartii.com/analytical_instruments/lea-s500.htm)>.
- [6] User's Manual. *Solar TII : Part 1*. Minsk: Logoisky, 2006. 105 s.
- [7] VRBOVÁ, Miroslava; JELÍNKOVÁ, Helena; GAVRILOV, Petr. *Úvod do laserové techniky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. 233 s. ISBN 80-01-01108-9.
- [8] SEDLÁČEK, Karel. *Laser v mnoha podobách*. Praha: Naše vojsko, 1982. 256 s. ISBN 28-117-82.
- [9] Laser. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 13. 10. 2005, last modified on 13. 3. 2011 [cit. 2011-04-04]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>>.
- [10] WIENER, J., PRŮŠOVÁ M.: Titanium and carbon in textile structure by LIBS method, Internationale Conference – TEXSCI 2010, Technical Universit of Liberec, Faculty of Textil Engineering, Department of Textil Chemistry
- [11] User's Manual. *Solar TII : Part 2*. Minsk: Logoisky, 2006. 105 s.
- [12] MILITKÝ, Jiří: *Textilní vlákna: Klasická a speciální*. Liberc : Technická univerzita v Liberci, 2002. 239 s. ISBN 80-7083644-X.
- [13] STANĚK, Jaroslav. *Textilní zbožíznalství : Vlákenné suroviny, příze a nitě*. první. Liberc : Technická univerzita v Liberci, 2002. 84 s. ISBN 80-7083-555-9.
- [14] Titan %28prvek%29. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 17. 1. 2005, last modified on 12. 3. 2011 [cit. 2011-03-12]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Titan\\_%28prvek%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Titan_%28prvek%29)>.
- [15] VOJÁČEK, Antonín. *Automatizace* [online]. 2009 [cit. 2011-03-12]. Materiál téměř na všechno. Dostupné z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/zajimavost-material-temer-na-vsechno-tio2>>
- [16] ŘÍHOVÁ, Vlasta. *Vlasy a choroby vlasů: trichologie*. 2. doplněné vydání. Praha: Zdravotnické nakladatelství, 1951. 236 s. ISBN 30108-399-48103.

- [17] HÜLSKEN, Margot, et al. *Příručka pro kadeřnice*. první vydání. Jihlava: Europa-Sobotáles cz, s. r. o., 2005. 360 s. ISBN 80-86706-12-5.
- [18] Vlas. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 8. 1. 2005, last modified on 2. 3. 2011 [cit. 2011-04-29]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Vlas>>.
- [19] HOCH, Dieter; SCHMOCK, Manfred. *Všechno o vlasech*. 1. české vydání. Praha: Synestesie s. r. o., 1994. 136 s.
- [20] *Zdravá pokožka* [online]. 2006 [cit. 2011-03-20]. Vlasy. Dostupné z WWW: <<http://www.zdrava-pokozka.cz/main.php?lang=cz&action=vlasy>>.
- [21] *Vlasy: info* [online]. 2011 [cit. 2011-03-20]. O vlasech. Dostupné z WWW: <<http://www.vlasy.info/o-vlasech/>>.
- [22] DOLÍČEK, Zdeněk. *Laboratorní metody výzkumu*. Olomouc, 2005. 60 s. Oborová práce. Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie.
- [23] Osteosynt%C3%A9za a jej%C3%AD principy. In *Wikiskripta* [online]. Praha : MEFANET, 12.4.2010, stránka naposledy změněna 28.1.2011 [cit. 2011-05-10]. Dostupné z WWW: <[http://www.wikiskripta.eu/index.php/Osteosynt%C3%A9za\\_a\\_jej%C3%AD\\_principy](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Osteosynt%C3%A9za_a_jej%C3%AD_principy)>.
- [24] *Metabolismus.cz* [online]. 2002 [cit. 2011-05-11]. Znáte svůj metabolický typ?. Dostupné z WWW: <<http://www.metabolismus.cz/>>.
- [25] VONDŘICH, Rudolf. *Rozkvet.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-05-11]. Prvková analýza vlasů (= diagnostika výživy z vlasů). Dostupné z WWW: <<http://rozket.cz/prilezitost/novaprilezitost.htm>>

## **Seznam příloh**

Příloha A- Spektrum světlého vlasu

Příloha B – Spektrum tmavého vlasu

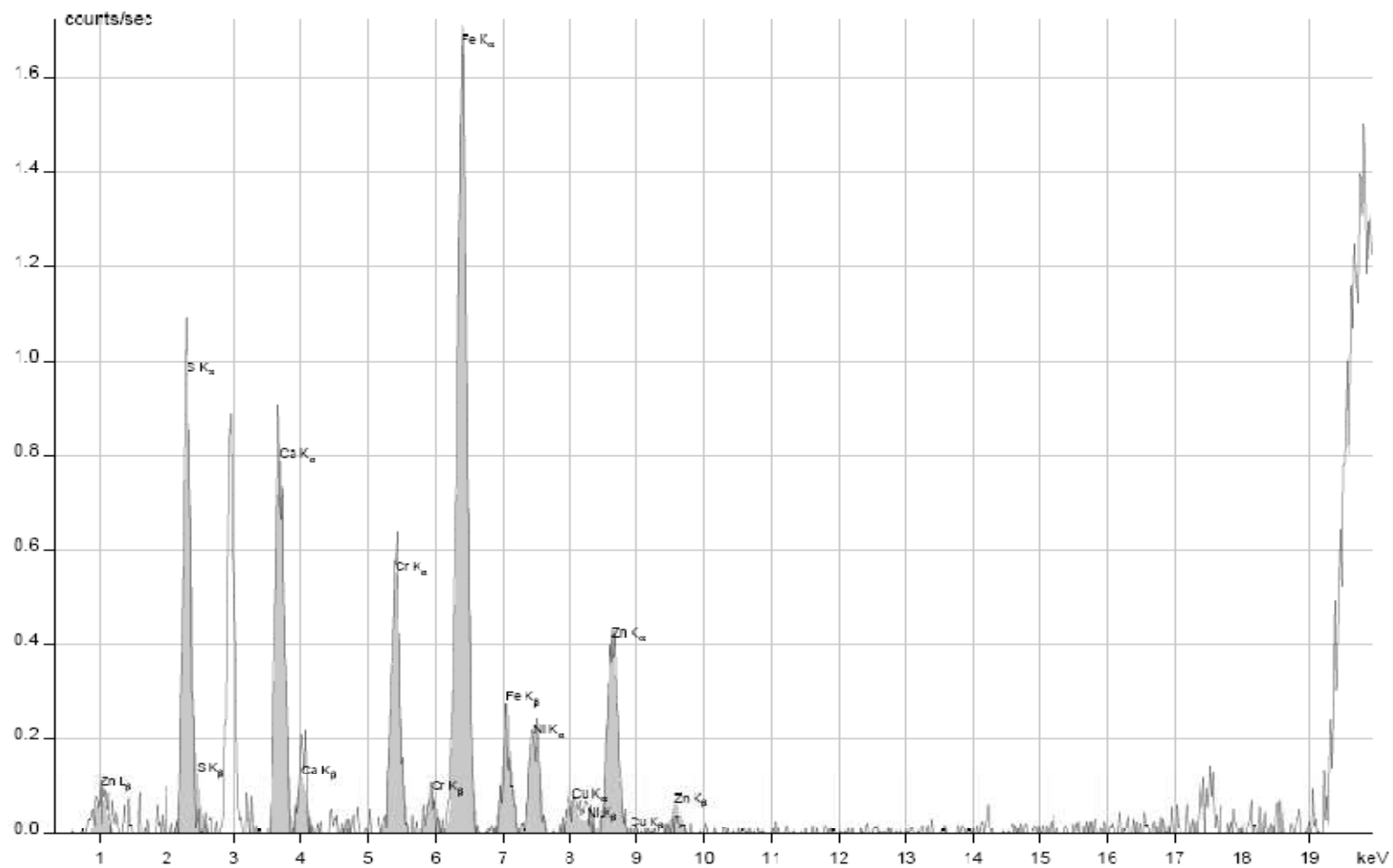
Příloha C – Spektrum součástí ostesyntézy

Příloha D – Koncentrace prvku ve světlých vlasech

Příloha E – Koncentrace prvků v tmavých vlasech



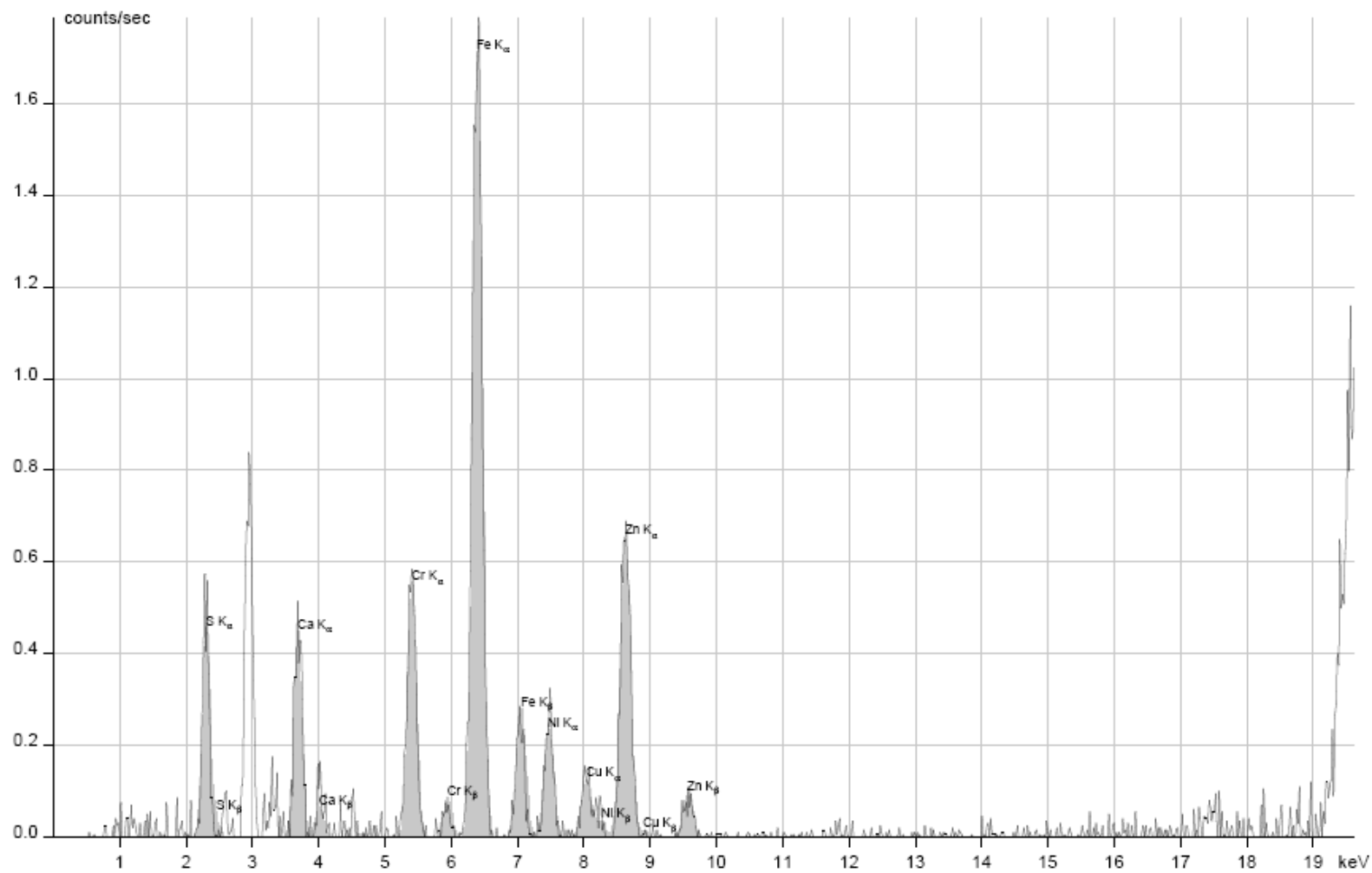
## Příloha A- Spektrum světlého vlasu



Spectrum: Světlé vlasy

Created by ElvaX software.  
Copyright © Elvatech Ltd.

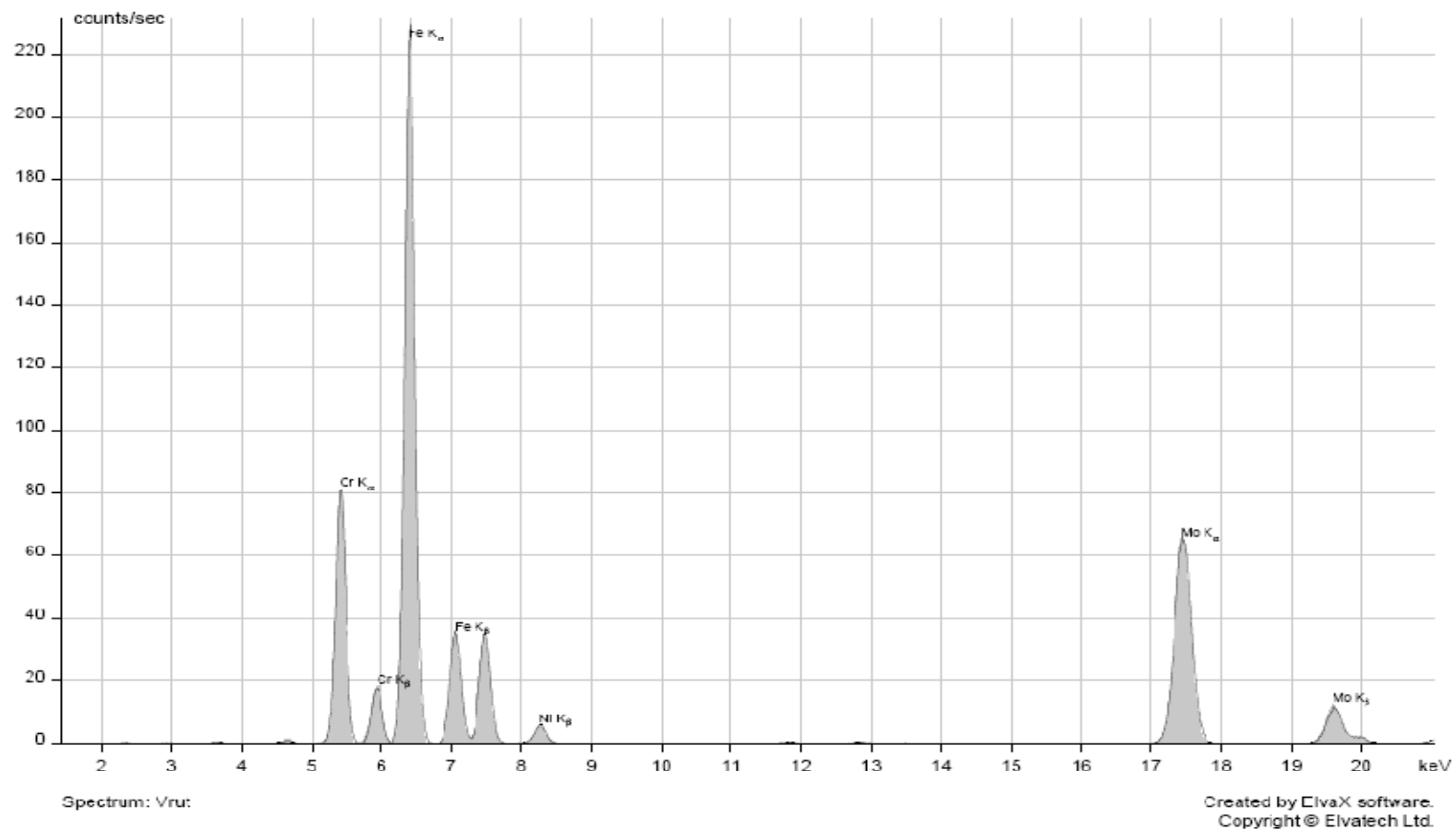
## Příloha B – Spektrum tmavého vlasu

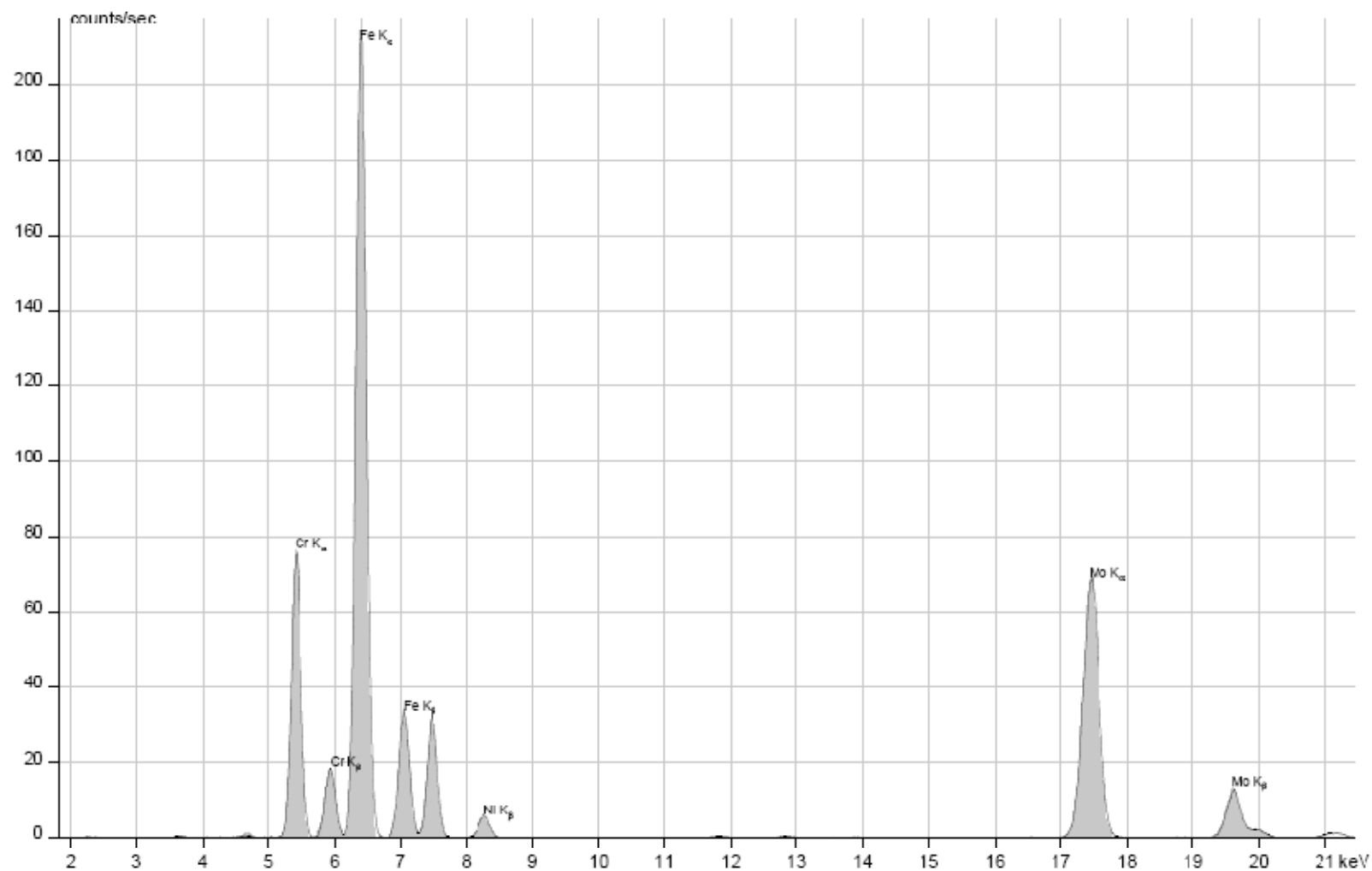


Spectrum: Tmavé vlasy

Created by ElvaX software.  
Copyright © Elvatech Ltd.

## Příloha C – Spektrum součástí ostesyntézy

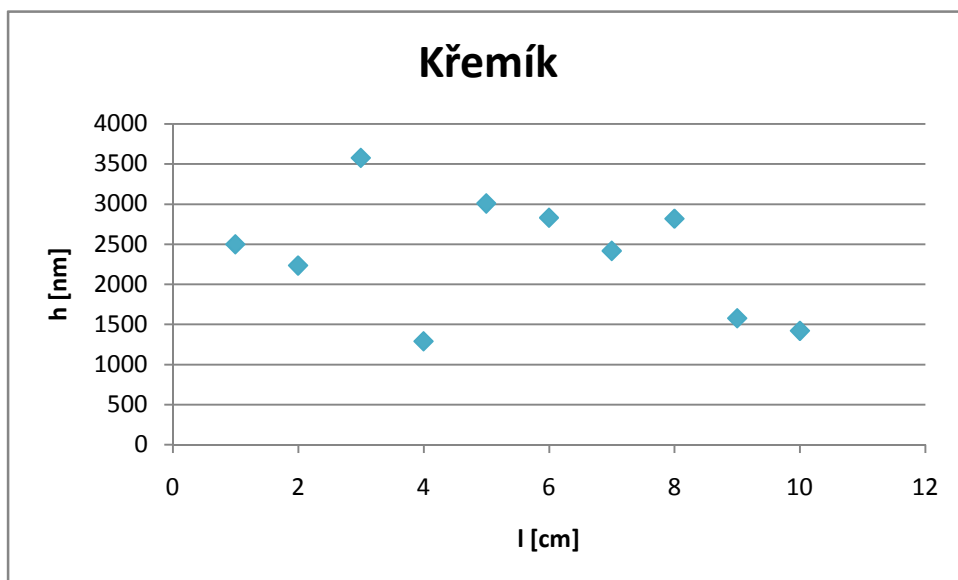




Spectrum: šroub-červík

Created by ElvaX software.  
Copyright © Elvatech Ltd.

## Příloha D – Koncentrace prvku ve světlých vlasech



**Příloha E – Koncentrace prvků v tmavých vlasech**

